B- Studio del processo proposto e progetto di massima

Sommario

Par. 1 - Analisi delle filiere per il trattamento dei rifiuti residui a valle della raccolta differenziata

Introduzione

Il Trattamento Meccanico-Biologico (TMB) è una tecnica di trattamento a freddo dei rifiuti, differenziati e non, che sfrutta la combinazione di processi meccanici e processi biologici secondo diverse configurazioni.
Il trattamento meccanico biologico consta di due fasi ben distinte:

- il trattamento meccanico. Si parla di pre-trattamento se il rifiuto viene vagliato per separare la frazione umida dei rifiuti, da destinarsi al successivo trattamento biologico, da quella secca. Oppure si parla di post-trattamento se si procede ad una semplice vagliatura del materiale in uscita dal trattamento biologico al fine di raggiungere gli obiettivi di processo o le performance di prodotto;
- il trattamento biologico che consiste in un processo biologico volto a conseguire la mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili (stabilizzazione) e la igienizzazione per pastorizzazione del prodotto.

Gli scopi dei trattamenti biologici sono quindi:

a) raggiungere la stabilizzazione della sostanza organica (ossia la perdita di fermentescibilità) mediante la mineralizzazione delle componenti organiche più facilmente degradabili, con produzione finale di acqua ed anidride carbonica e loro allontanamento dal sistema biochimico;
b) conseguire la igienizzazione della massa; debellando i fitopatogeni presenti nei residui vegetali, nonché i patogeni umani veicolati presenti nei materiali di scarto (es.: fanghi civili);
c) ridurre il volume e la massa dei materiali trattati.

È possibile identificare due tipologie di trattamento meccanico biologico della frazioni residue, con la prima si ha la differenziazione del materiale in due flussi: una frazione "organica" (frazione sottovaglio; Ø < 50 - 90 mm) da destinarsi a trattamento biologico e una frazione secca (sovvallo Ø > 50 - 90 mm) da destinarsi al recupero di materia, alla valorizzazione energetica o al conferimento in discarica.
La seconda tipologia consiste in un trattamento a flusso unico, cioè dove tutto il rifiuto in ingresso all'impianto subisce un trattamento biologico, mentre il trattamento meccanico si limita ad una semplice frantumazione del rifiuto.
Una configurazione schematica di un impianto TMB è quella riportata in Figura 1 e Figura 2 invece è riportato lo schema di un sistema TMB dove il trattamento biologico viene effettuato prima del trattamento meccanico. Questa configurazione viene anche chiamata Trattamento Biologico Meccanico (TBM).

Figura 1. Schema TMB.

Figura 2. Schema TBM.

Il trattamento a freddo dei rifiuti mediante TMB si distingue nettamente dallo smaltimento, non solo per motivi tecnologici ma anche per una netta differenza di obiettivi tra le due tecniche.
Lo smaltimento viene attuato mediante:

1) trattamento termico;
2) messa in discarica.

Nel primo caso, si distinguono tre processi fondamentali: incenerimento, gassificazione e pirolisi. Queste tecnologie consentono di sfruttare il potere calorifico dei rifiuti per la produzione di energia. Questa tecnica produce residui e scarti (ceneri e polveri) che richiedono ulteriore smaltimento, generalmente in discarica. Pertanto esiste un'intrinseca correlazione tra i due diversi sistemi di smaltimento dei rifiuti.
La tecnologia TMB nasce per ridurre la dipendenza dalle discariche. Ad oggi, però, nessun impianto è in grado di ridurre a zero la percentuale di materiale conferito in discarica. Infatti i processi di selezione meccanica e di biostabilizzazione della frazione organica producono un residuo che deve essere necessariamente conferito in discarica. Nei migliori dei casi, questo residuo è pari al 15% del materiale in ingresso.
Non è raro trovare, soprattutto in Italia, impianti TMB abbinati a impianti di incenerimento di rifiuti. In questo caso il TMB risulta essere un processo propedeutico all' incenerimento del rifiuto.
In questo tipo di impianti, il materiale subisce un processo di bioessiccazione che ne esalta il potere calorifico trasformando il rifiuto in CDR (Combustibile Da Rifiuto).
Dall'analisi delle esperienze raccolte si evince come il TMB non risulti essere una soluzione alternativa all'incenerimento dei rifiuti o al conferimento in discarica, bensì una tecnica complementare a queste due che ha come obiettivi principali:

1) l'inertizzazione del rifiuto tal quale prima di essere conferito in discarica;
2) la riduzione di materiale da smaltire;
3) la produzione di combustibile.

È importante sottolineare anche che il TMB non è una tecnica alternativa alla raccolta differenziata. Al contrario, il TMB è un sostegno a questo sistema. Infatti la raccolta differenziata consente una maggior e una miglior differenziazione dei rifiuti rispetto a quella attuata durante le fasi di pretrattamento meccanico all'interno di un impianto TMB. Inoltre gli impianti TMB possono lavorare anche con la sola frazione residua

degli RSU, come dimostrano i numerosi impianti realizzati in Germania, dove la raccolta differenziata porta a porta è una pratica avviata e consolidata da diversi anni.
In Figura 4 è riportata la destinazione degli RSU prodotti in Germania tra gli anni 1995 e 2006 [1], il recupero include i TMB. Il grafico mostra come un'attenta politica di prevenzione ed un impiego ottimale degli impianti TMB abbia consentito il quasi totale disimpiego delle discariche (1%) già nell'anno 2006.
Da sottolineare anche il contenimento dell'uso dell'incenerimento dei rifiuti.

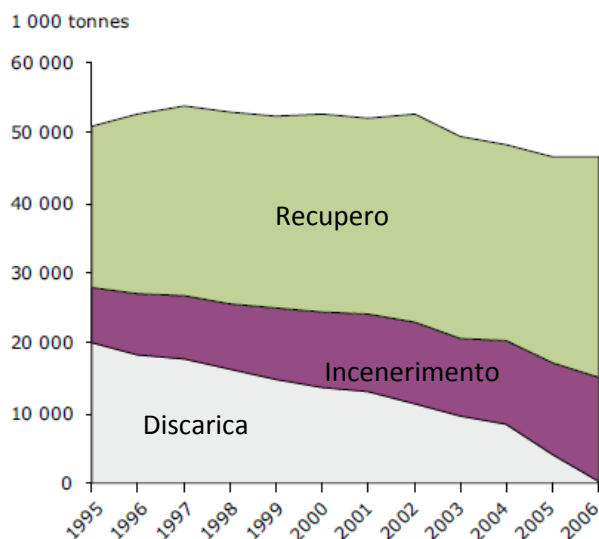



Figura 3. Destinazione degli RSU prodotti in Germania tra gli anni 1995 e 2006. [1]

Di seguito sono riassunti gli obiettivi e i vantaggi del TMB:

1) **Riduzione del conferimento in discarica**. Questo è il principale obiettivo degli impianti TMB anche se è importante sottolineare che un processo TMB da solo non può sostituire integralmente la discarica. Talvolta i processi TMB possono essere impiegati con la finalità di produrre in uscita un materiale inerte (o biostabilizzato) da conferire proprio in discarica. Greenpeace [2] ed altre associazioni si dichiarano favorevoli all'impiego degli TMB seguiti dall'uso della discarica rispetto al ricorso all'incenerimento per ciò che riguarda le emissioni, l'impatto sul clima e la conservazione dei materiali e dell'energia.
2) **Potenziare il riciclaggio**. Obiettivo secondario che però trova difficoltà d'attuazione in quanto l'input del processo deve essere costituito dal residuo a valle della raccolta differenziata secco/umido. Senza una raccolta differenziata spinta secco/umido a monte, il TMB da solo non riesce ad apportare alcun incremento al riciclaggio. Inoltre vi è la tendenza a realizzare impianti TMB per la produzione di CDR piuttosto che volti alla valorizzazione delle frazioni riciclabili. Oggi, in Italia, esistono pochi esempi che dimostrano la realizzazione di un impianto TMB finalizzato al recupero di materia.
3) **Riduzione dell'incenerimento**. Altro obiettivo principale del TMB, infatti, consente di ridurre la quantità di materiale da smaltire, sia in discarica che mediante incenerimento. Oggi però, come già detto precedentemente, molti impianti TMB producono CDR o bio-fuel da impiegare negli inceneritori, spesso costruiti in prossimità degli impianti TMB stessi. Inoltre il TMB costituisce parte di un sistema integrato che riduce l'incenerimento del rifiuto "tal quale". L'incenerimento del "tal

quale" è una tecnica disincentivante l'implementazione di sistemi virtuosi basati su raccolta differenziata spinta secco/umido.

4) **Alternativa alla raccolta differenziata spinta con separazione secco/umido**. Può essere considerato vero in quanto il TMB può trattare anche il rifiuto "tal quale" senza che venga fatta alcuna separazione a monte. In questo caso però, il processo non può raggiungere determinati obiettivi, divenuti ormai strategici per qualunque paese industrializzato, come la riduzione del conferimento in discarica, il potenziamento del recupero di materia, l'uso efficiente delle risorse, la conservazione dei materiali e dell'energia. Inoltre gli impianti di biostabilizzazione possono essere riconvertiti al compostaggio di qualità in maniera flessibile in funzione dell'efficienza dell'intercettazione dell'umido.
5) **Chiusura del ciclo dei rifiuti ("*Zero Waste*").** Vero, ma non da solo. Il TMB deve essere inserito in progetto di più ampio spettro che coinvolga tutti i soggetti coinvolti nel ciclo di vita del rifiuto. In altre parole, l'obiettivo "*Zero Waste*" può essere raggiunto solo mediante politiche di riduzione alla fonte dei rifiuti, raccolte differenziate spinte, impianti TMB che trattano il residuo, riciclaggio spinto di tutte le frazioni secche e impianti di compostaggio per la frazione umida.
6) **Minor costo di smaltimento rifiuti.** Falso. Sebbene il costo di investimento di un impianto TMB risulti essere molto inferiore al costo di un impianto di trattamento a caldo, il costo di gestione non è inferiore.
7) **Minor impatto ambientale.** Vero, ma dipende dal tipo di impianto. Le emissioni in generale sono inferiori, rispetto al trattamento termico, ma dipendono fortemente da diversi fattori che caratterizzano l'impianto come la presenza di cogeneratori che bruciano il biogas prodotto dal processo anaerobico, dalla presenza e dalla qualità dei sistemi di abbattimento termici, dal tipo di trattamento biologico ecc. Questo vale anche per l'impatto visivo, l'occupazione di suolo e l'inquinamento acustico.
8) **Facilità di realizzazione.** Vero. In generale i TMB richiedono meno autorizzazioni rispetto ad un impianto di trattamento a caldo dei rifiuti e sono spesso ben accette dalla popolazione.
9) **Minor rischio economico.** Vero, ma dipende dalle scelte impiantistiche che determinano il tipo di output e il tipo di input. In generale il rischio dell'investimento in un TMB è inferiore rispetto ad altre tecnologie più recenti e meno collaudate.

Par. 2 - Le tecnologie disponibili, la loro diffusione

La scelta di un impianto TMB può essere fatta in base al tipo di output che si vuole ottenere. Secondo questo criterio, le infinite configurazioni di TMB si possono ridurre in 4 grandi famiglie:

a) Impianti che producono Biogas;
b) Impianti che producono Compost o Biostabilizzato;
c) Impianti che producono Combustibile (CDR o RDF);
d) Impianti che producono materiale inerte da conferire in discarica.

Indipendentemente dall'obiettivo primario del TMB, tutti gli impianti producono anche:

- Materiali da conferire alla filiera del riciclo come carta, metalli, plastiche ed inerti;
- Residuo e scarti che devono essere smaltiti;

- Acque di scarto e residui derivati dai sistemi di abbattimento delle emissioni.

Andando nel dettaglio, è possibile individuare otto diverse configurazioni di TMB che si distinguo tra loro per il tipo di output prodotto e per la tecnologia impiegata nella fase biologica (Tabella 1).

Tutte le configurazioni presentano una fase di trattamento meccanico che può essere più o meno complessa ma, in generale, non caratterizza nessuno degli impianti TMB oggi esistenti, infatti il cuore del sistema TMB è il processo biologico. Durante la fase di selezione meccanica, gli output sono costituiti da: materiali riciclabili e residuo non riciclabile.

Nel grafico in Figura 4 è riportato l'andamento del costo specifico di trattamento per tonnellata di rifiuti trattati, al variare della taglia dell'impianto. Il grafico si riferisce ad impianti che prevedono biostabilizzazione, bioessiccazione o digestione aerobica del rifiuto. Sono esclusi gli impianti di digestione anaerobica. Si osserva che il costo di trattamento decresce all'aumentare della capacità del rifiuto trattato.

Di seguito si descrivono le principali voci di costo di gestione di un impianto tipo di selezione meccanica di rifiuti urbani, produzione di CDR e compostaggio della frazione umida [5].

Si considera un impianto da 120.000 t/anno pari a circa 400 t/g di rifiuti urbani. I prodotti derivati dal trattamento sono:

- CDR 30% (36.000 t/anno);
- Frazione organica stabilizzata 15% (18.000 t/anno);
- Metalli 3% (3.000 t/anno);
- Residui di lavorazione igienizzati 25% (30.000 t/anno).

Nella Tabella 2. Costi di gestione ordinaria di impianti di trattamento biologico (400 t/g). sono riportate le singole voci di costo per l'impianto considerato. Ne deriva che il costo di esercizio è di circa 34 euro per tonnellata di rifiuti trattati.

	Output	Obiettivi	MBT			
			Fase Biologica	output	Fase successiva	Output
1	Biostabilizzato (Discarica)	Ridurre la biodegradabilità dei RSU e recuperare i materiali riciclabili	Compostaggio aerobico	Biostabilizzato	-	-
2	Compost di qualità	Recupero del materiale organico da impiegare in agricoltura	Compostaggio aerobico	Compost per agricoltura	-	-
3	Compost	Recupero del materiale organico	Compostaggio aerobico	Compost non per agricoltura	-	-
4	Combustibile da rifiuto	Massimizzare il recupero energetico del rifiuto	Digestione aerobica/anaerobica	RDF	-	-
5	Combustibile da rifiuto	Massimizzare il recupero energetico del rifiuto	Bio disidratazione	SRF (bio-fuel)	-	-
6	Combustibile da rifiuto / Energia	Ridurre la quantità di materiale da bruciare nell'inceneritore	Digestione aerobica/anaerobica	CDR	Inceneritore o gassificazione	Ceneri + energia
7	Biogas /	Produzione di energia	Digestione	Digestato	Cogenerazione	energia

	Energia		anaerobica	(discarica) + Biogas		
8	Biogas + Compost	Produzione di energia e recupero di materiale organico	Digestione anaerobica	Digestato + Biogas	Compostaggio del digestato	compost

Tabella 1. Otto configurazioni di TMB in base al tipo di output e al tipo di trattamento biologico.

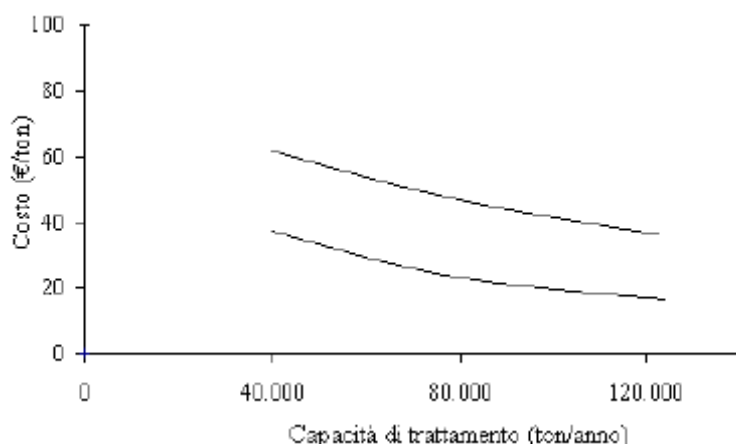



Figura 4. Costo specifico di trattamento per tonnellata di rifiuto al variare della taglia dell'impianto. [5]

Ripartizione percentuale dei costi di gestione		
Voci di costo	**Euro /anno**	**%**
Spese per il personale	904.000	22
Costi tecnici di produzione	312.000	8
Manutenzione	527.000	13
Prestazioni di terzi	248.000	6
Costi amministrativi e finanziari	157.000	4
TOTALE PARZIALE	**2.148.000**	**52**
Spese generali e utili di gestione (20%)	429.000	10
COSTO TOTALE GESTIONE ORDINARIA	**2.577.000**	**63**
Ammortamento	2.522.000	37
TOTALE DI ESERCIZIO	**5.099.000**	**100**

Tabella 2. Costi di gestione ordinaria di impianti di trattamento biologico (400 t/g). [5]

La situazione italiana

L'analisi effettuata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), dei dati relativi alla gestione dei rifiuti urbani nell'anno 2007, mostra una riduzione del ricorso alla discarica che decresce del 2,4% al 2006, che, in termini quantitativi, corrisponde ad una riduzione di oltre 614.000 tonnellate imputabile quasi esclusivamente al nord Italia.

Il ricorso alle altre forme di gestione, appare abbastanza stabile: l'incenerimento registra un incremento dello 0,1%, mentre il compostaggio da matrici selezionate (frazione umida + verde) aumenta del 4,8%. Incrementano del 34,2% i quantitativi avviati ad impianti di digestione anaerobica che passano dalle 172.000 tonnellate del 2006 alle 231.000 registrate nel 2007, grazie anche all'apertura di nuovi impianti. Del totale dei rifiuti trattati negli impianti di digestione anaerobica, l'83% sono costituiti dalle frazioni organiche della raccolta differenziata (frazione umida + verde), mentre la restante parte è costituita da altre fazioni organiche miste provenienti dalla selezione dei rifiuti indifferenziati.

L'analisi delle potenzialità degli impianti di digestione anaerobica evidenzia, peraltro, un ampio margine di miglioramento, infatti molti impianti non sono stati ancora avviati e la maggior parte di quelli attivi non lavora ancora a pieno regime; ci si attende, quindi, un incremento delle quote di rifiuti trattati. In Campania, invece perdura il ricorso allo stoccaggio delle "ecoballe" che mostra una sostanziale stabilità, passando dal 2,4% al 2,6% (Figura 5).

Lo smaltimento in discarica, che nell'arco del quinquennio esaminato dall' ISPRA (2003-2007) passa dal 53,4% al 46,7%, si conferma la forma di gestione più diffusa. A queste percentuali vanno anche aggiunte quelle relative allo stoccaggio delle cosiddette "ecoballe" campane. Ne consegue una percentuale di smaltimento in discarica pari al 49,3%. L'incenerimento, nel quinquennio, si mantiene costante passando da 9% a 11%.

Il compostaggio di matrici selezionate, con un quantitativo complessivo di rifiuti trattati pari a circa 2,4 milioni di tonnellate, fa registrare un lieve incremento di circa il 4,8%. Tale aumento, evidenzia, comunque, una progressiva crescita del settore che rimane chiaramente condizionato dagli scarsi risultati raggiunti nel sud del Paese, in termini di raccolta differenziata della frazione organica. A tal riguardo, va rilevato che il quantitativo pro capite di frazione organica da rifiuti urbani avviata a compostaggio, è pari a circa 39,7 kg a livello nazionale (Nord: 66,3 kg/ab*anno; Centro: 29,8 kg/ab*anno; Sud: 10,7 kg/ab*anno) contro una potenzialità degli impianti, nel 2007, pari a 107 kg per abitante a livello nazionale (118 kg per abitante al Nord, 119 kg per abitante al Centro e 85 kg per abitante al Sud).

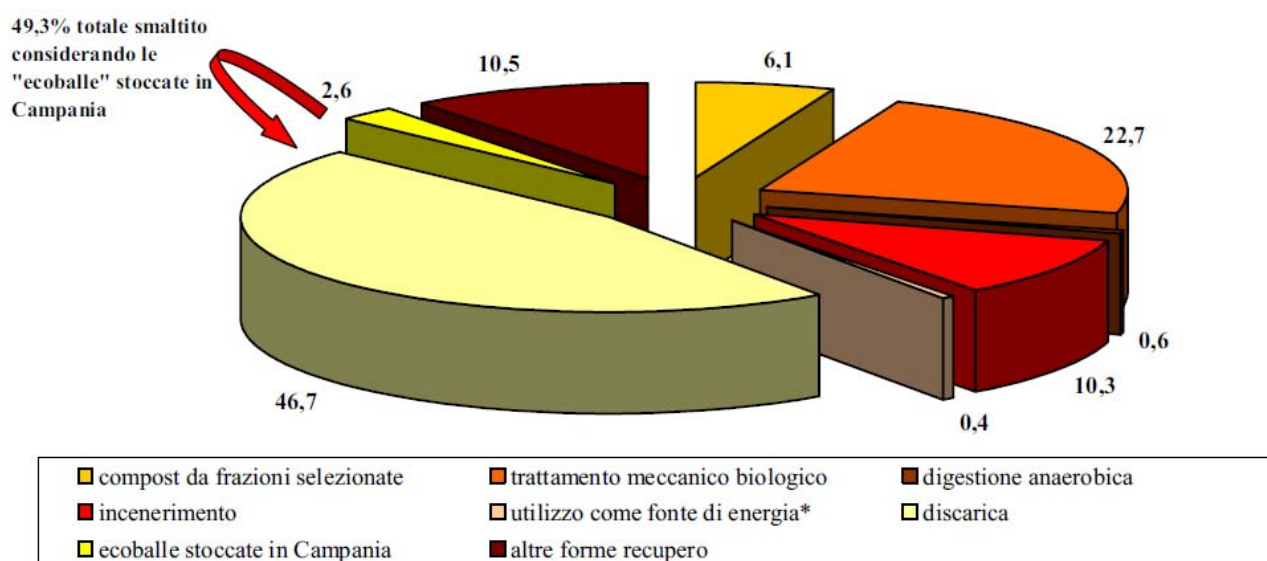



Figura 5. Gestione dei rifiuti urbani anno 2007 [6].

I rifiuti complessivamente sottoposti a trattamento meccanico biologico, nell'anno 2007, ammontano a circa 9,6 milioni di tonnellate, facendo rilevare, rispetto al 2006, un incremento del 6,4%.
L'analisi dei dati evidenzia come, del totale dei rifiuti sottoposti a tale tipologia di trattamento, il 91%, pari a circa 8,8 milioni di tonnellate, sia costituito da rifiuti urbani indifferenziati ed il restante 9% da altri rifiuti, quali quelli prodotti da trattamento meccanico di rifiuti, fanghi da trattamento reflui urbani ed industriali, frazioni merceologiche di rifiuti urbani quali carta, plastica, metalli, legno, ed infine, altri rifiuti provenienti, ad esempio, dal settore tessile e dall'agroindustria.
Il numero di impianti censiti nell'anno 2007, pari a 133, aumenta di 5 unità rispetto alla precedente indagine (Rapporto ISPRA 2007), con una potenzialità installata pari a 14 milioni di tonnellate all'anno. Mentre, il numero di impianti operativi, passa da 114 a 117.
In Trentino Alto Adige esiste un solo impianto di trattamento meccanico biologico autorizzato per 22.000 t/anno (12.811 tonnellate di rifiuti lavorati nel 2007).
Il grafico in Figura 6 mostra, con riferimento alle tre macroaree geografiche, i quantitativi dei rifiuti in ingresso agli impianti di trattamento meccanico biologico, nel periodo dal 2003 al 2007.
Diversamente dall'andamento registrato nella precedente indagine, che mostrava un aumento sostanziale dei quantitativi di rifiuti gestiti negli impianti del Nord, nel 2007, in tale area, i rifiuti trattati, pari a 3 milioni di tonnellate (31,9% dei rifiuti gestiti in ambito nazionale), fanno registrare una flessione del 2,2%.
Nelle altre aree del Paese, invece, si rileva un progressivo incremento dei quantitativi di rifiuti trattati. In particolare, nel Centro: + 19,6% rispetto il 2006 arrivando al 26,2% del totale nazionale pari a 2,5 milioni di tonnellate e nel Sud: + 6% rispetto il 2006 arrivando al 41,9% del totale nazionale pari a 4 milioni di tonnellate.

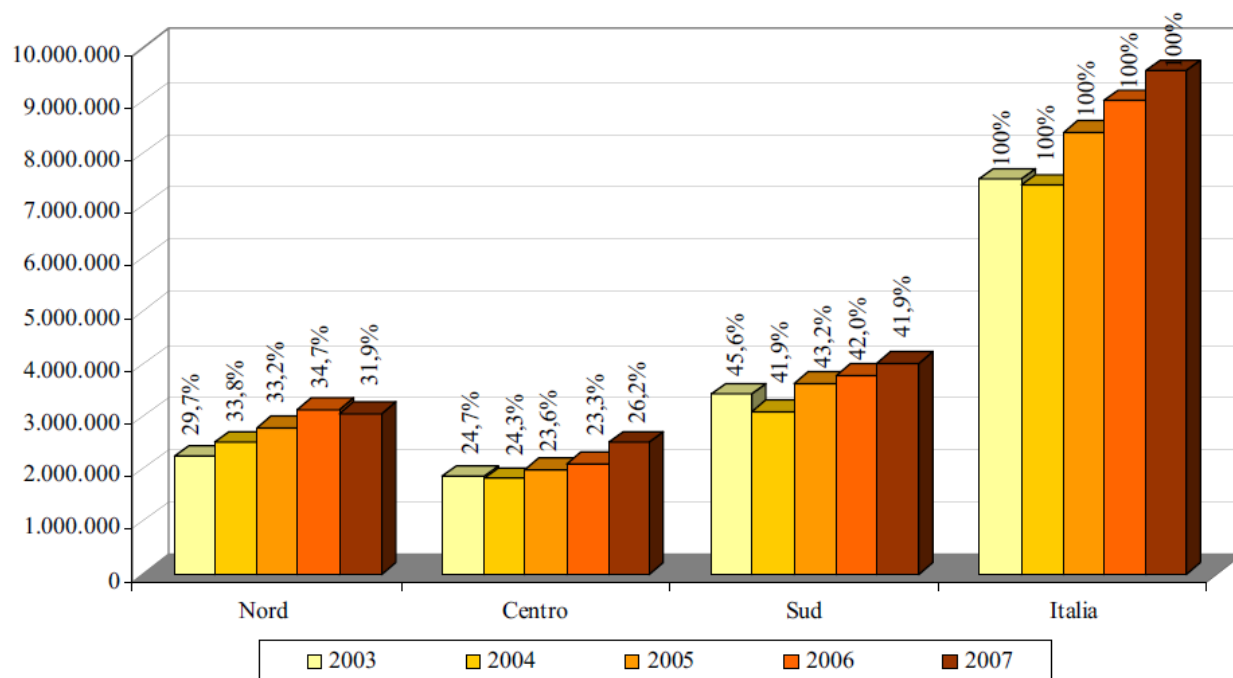



Figura 6. Rifiuti in ingresso agli impianti di trattamento meccanico biologico anni 2003-2007. [6]

Nell'anno 2007, i materiali in uscita dagli impianti di trattamento meccanico biologico (Figura 7) sono pari, complessivamente, a circa 8,5 milioni di tonnellate. La frazione secca (2,8 milioni di tonnellate), costituisce il 33,5%, il biostabilizzato (1,052 milioni di tonnellate) il 12,4%, il CDR (circa 784.000 tonnellate) il 9,3% dei materiali in uscita dagli impianti; gli scarti (2,9 milioni di tonnellate), costituiscono, invece, il 34,8%. Le altre frazioni prodotte sono rappresentate da bioessiccato (2,1%), frazione umida (1,7%), metalli (0,4%) ed altri materiali quali, legno e plastiche (5,8%).

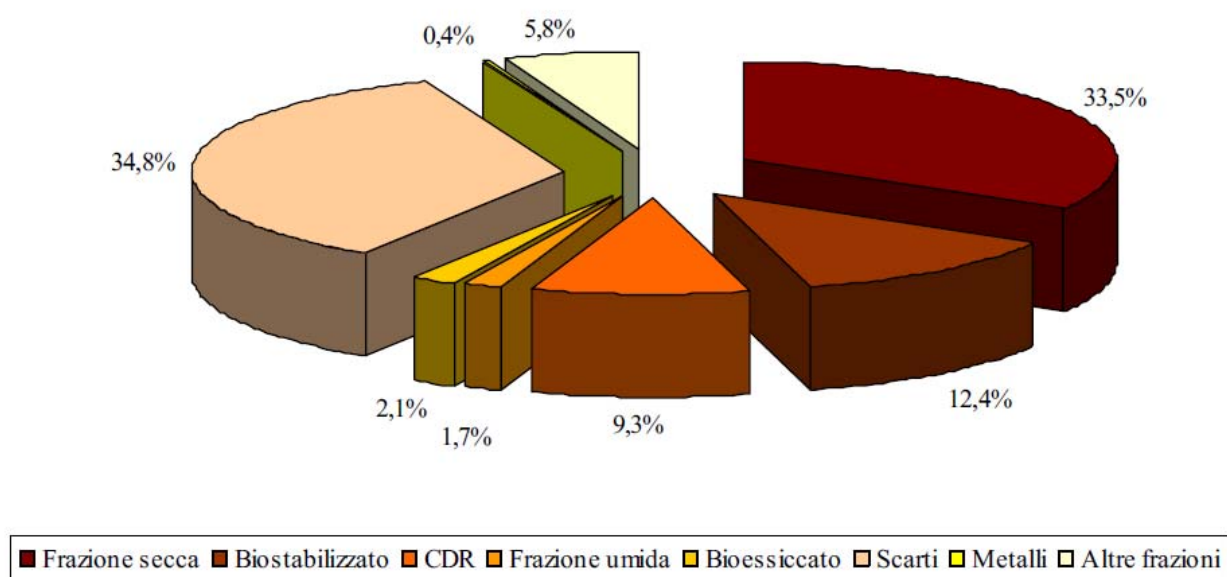



Figura 7. Tipologie di materiali in uscita dagli impianti di trattamento meccanico biologico anno 2007. [6]

Al fine di valutare l'effettiva diversione dalla discarica e la percentuale di materiale avviato a riciclo, si deve osservare la Figura 8 che riporta le destinazioni finali dei vari materiali in uscita dagli impianti di TMB. È importante sottolineare che i dati disponibili raggiungono una copertura del 71% degli impianti censiti, pari a 6 milioni di tonnellate di residui in uscita dal trattamento.

Il 54,5%, pari a circa 3,3 milioni di tonnellate, è destinato allo smaltimento finale in discarica; oltre 1 milione di tonnellate (18,4%), che costituisce l'output degli impianti della Campania, vengono stoccate in deposito preliminare, in attesa dello smaltimento finale, costituito perlopiù dalla discarica.

Il 13,8%, pari ad oltre 830.000 tonnellate, viene avviato ad impianti di incenerimento; il 5% (300.771 tonnellate) è destinato ad operazioni di copertura discariche. I materiali avviati a recupero, costituiti, prevalentemente, da metalli, sono pari al 2,4%; quelli avviati a biostabilizzazione, rappresentano il 2%; mentre l'1,6% dei residui viene destinato alla produzione di CDR. L'1,2% dei materiali, viene, infine, recuperato energeticamente in impianti produttivi.

Quindi il recupero materia è pari al 9,4% (Recupero + Copertura discariche + Biostabilizzazione); il recupero energetico è pari al 16,6% (Recupero di energia + Produzione di CDR + Incenerimento); e lo smaltimento in discarica riguarda il 74% dell'output degli impianti di TMB italiani (Smaltimento in discarica + Messa in riserva + Deposito preliminare delle ecoballe campane), ottenendo una diversione dalla discarica pari al

26%. Non considerando le ecoballe campane, la diversione dalla discarica arriva al 33% (Recupero di materia: 12%; Recupero di energia: 21%).

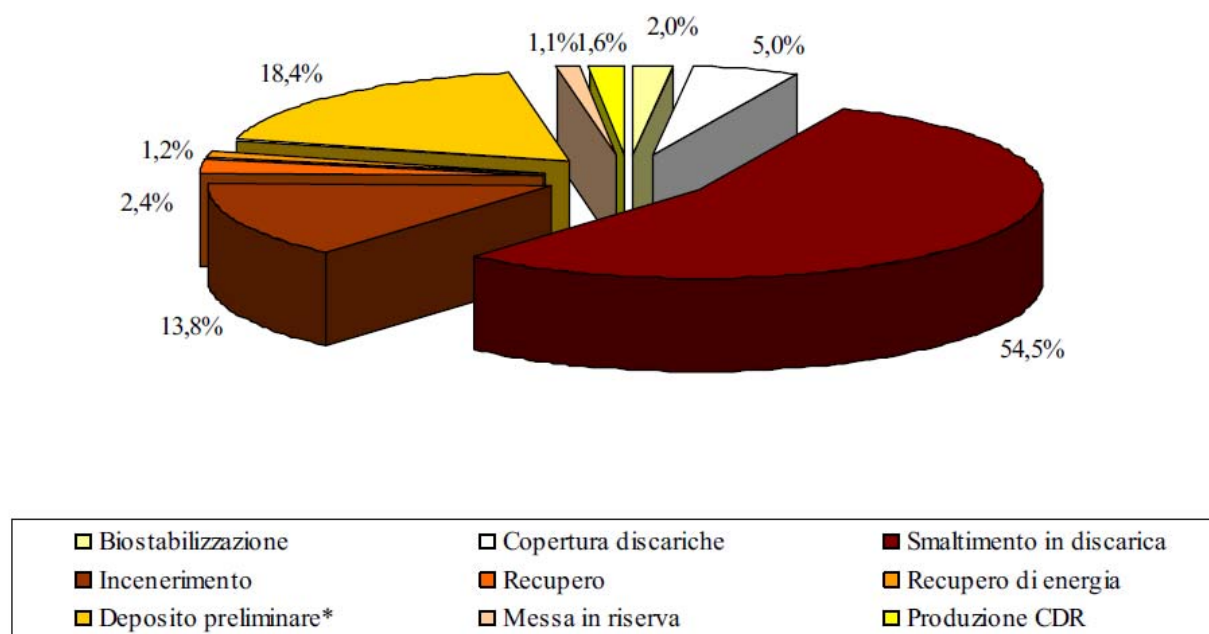



Figura 8. Destinazione finale dei materiali in uscita dagli impianti di trattamento meccanico biologico anno 2007. [6]

Il trattamento meccanico

Il trattamento meccanico viene spesso e volentieri distinto in pre-trattamento e post-trattamento a seconda che venga effettuato prima o dopo il trattamento biologico. Nel primo caso l'obiettivo è la preparazione del materiale per il successivo step biologico, separando la frazione secca e la frazione umida. Nel secondo caso, il trattamento consiste in una raffinazione del digestato mediante l'eliminazione di inquinanti e frazioni estranee. Il post-trattamento meccanico viene spesso effettuato in quegli impianti dove si produce combustibile ad alto potere calorifico o "compost di qualità".
Obiettivo secondario del trattamento meccanico è il recupero di materiali riciclabili (recupero di materia).
In generale, la fase di selezione meccanica impiega diversi macchinari per la separazione automatica dei materiali, sfruttando diverse proprietà (dimensione, densità, magnetismo ecc.). Di seguito è riporta una breve rassegna dei macchinari impiegati negli impianti TMB.

Riduzione dimensionale.

Triturazione.

La riduzione dimensionale permette di ridurre la pezzatura dei rifiuti, ottenendo prodotti con pezzatura contenuta entro opportuni limiti, al fine di agevolare le successive operazioni di trattamento.
Le apparecchiature sono di tipo meccanico dette "trituratori", e agiscono sul materiale impiegando appositi utensili e che applicano forze di tensione, compressione e taglio.
I trituratori si differenziano prevalentemente in base all'utensile di cui sono dotate, o al diverso numero di utensili di cui sono equipaggiati, o alla rispettiva velocità di movimento. Possono essere classificati in quattro grandi famiglie: a mascelle, a cilindri, ad urto e rotativi.

Mulini a martelli

Sono stati i primi ad essere usati per la lavorazione dei RSU allo stato grezzo. Ancora oggi il loro uso è abbastanza diffuso. L'effetto di triturazione è determinato dall'azione d'urto combinata con quella di attrito dei martelli rotanti ad alta velocità (600-1800 rpm). Esistono due tipi: ad asse verticale (Figura 9) ed ad asse orizzontale (Figura 910).
Tra quelli ad asse orizzontale è possibile fare un'ulteriore distinzione a seconda che i martelli siano oscillanti oppure rigidamente vincolati al'asse. I primi hanno avuto un più largo impiego per via dei minori rischi di danneggiamento dovuti all'urto degli stessi contro materiali particolarmente resistenti alla rottura.
I trituratori verticali costituiscono un apprezzabile progresso rispetto a quelli orizzontali in quanto consentono un cammino del rifiuto dall'alto verso il basso, con triturazione progressiva durante il passaggio nella gola della macchina. Agendo sulla velocità di passaggio dei rifiuti nella gola della macchina, si può determinare il grado di sminuzzamento e si riesce meglio a controllare il rischio di polverizzazione del vetro, rendendo così la macchina più idonea al trattamento del rifiuto grezzo. I trituratori ad asse verticale consentono inoltre, rispetto a quelli ad asse orizzontale, un più agevole passaggio ai materiali tessili e plastici che non subiscono un'apprezzabile riduzione di pezzatura durante il loro passaggio. Infine, le parti dure non frantumabili, vengono colpite dai martelli e assumono forza centrifuga sufficiente per l'espulsione balistica attraverso un'apposita apertura posta sulla sommità della camera di frantumazione.

Figura 9. Mulino a martelli ad asse verticale

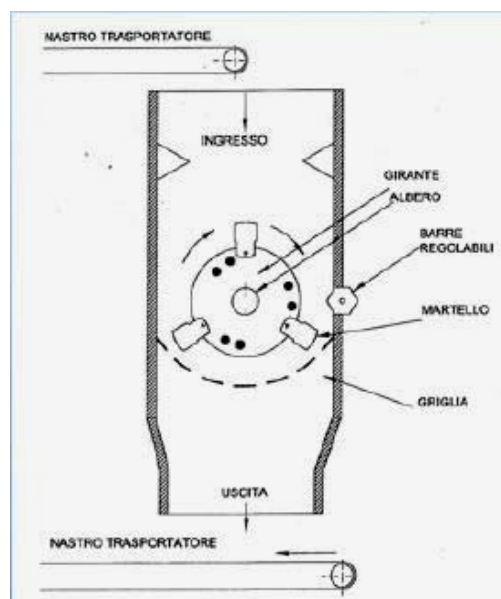



Figura 10. Mulino a martelli ad asse orizzontale

Trituratori a coltelli

I trituratori a coltelli (Figura 11) sono dotati di utensili affilati (coltelli o cesoie) montati attorno ad uno o più alberi orizzontali rotanti. Ruotano alla velocità di 50÷200 giri/min, lacerano e tagliano il materiale che viene loro in contatto per caduta, dal sistema di alimentazione posto nella parte alta della macchina. La dimensione del materiale in uscita, solitamente compresa tra 3 e 30 cm, è determinata dalla distanza tra gli alberi e tra i singoli utensili.

L'aggiunta di una griglia forata, sottostante agli assi rotanti, permette una maggiore uniformità dimensionale del materiale trattato. Questo tipo di macchina trova impiego anche come lacera sacchi, ovvero per le operazioni di apertura e rottura dei sacchetti a perdere contenenti il rifiuto da trattare.

Nel caso di immissione di materiali non triturabili o inerti (metalli, vetri, pezzi di cemento, ecc..) il sistema potrebbe bloccarsi o subire danneggiamenti. Sono previsti sistemi automatici anti-inceppamento: nel caso di arresto degli assi, si ha un'inversione automatica del senso di rotazione degli assi stessi per alcuni giri, in modo da liberare il sistema automaticamente. Nel caso di ripetizione del problema al riavvio, si ha l'interruzione e l'intervento manuale dell'operatore. Si tratta di macchine sottoposte a forte usura degli utensili, quindi richiedono numerosi pezzi di ricambio e operazioni frequenti di manutenzione.

Figura 11. Trituratore a coltelli

Altri macinatori sono, ad esempio, le cesoie a una sola lama che vengono usate per rifiuti voluminosi; le frese e gli scroccatori che utilizzano forze dovute al carico e forze di taglio; il "*pierce and tear type*" che viene usato per la macinatura di materiali fibrosi e duttili. Le frese in realtà non vengono usate per la macinatura dei RSU a causa della facilità di danneggiamento delle loro lame.

I mulini a raspe, così come i polverizzatori a tamburo, si basano su forze di carico, compressione e forze di taglio; i mulini a dischi sono costituiti da un singolo disco rotante, poggiante su una superficie fissa, oppure da due dischi che ruotano contemporaneamente, ma in senso opposto. Può essere usato per materiali di piccole dimensioni.

Infine, lo spappolatore ad umido che è simile al mulino a dischi, ma in questo caso il materiale viene prima mescolato con acqua e poi introdotto nel pulper dove viene macinato da una lama segmentata rotante. Il materiale macinato viene spinto verso l'esterno dove viene raccolto.

Vagliatura dimensionale

Vaglio a tamburo (o sistema trommel).

Il vaglio a tamburo (Figura 12) è un selezionatore dimensionale, cioè separa i rifiuti in base alle dimensioni delle maglie di cui è costituito. Ha forma cilindrica e l'apertura delle maglie è di 5-10 cm. La velocità di rotazione è di 10-18 rpm. Per facilitare la discesa del materiale, il vaglio a tamburo è inclinato di 3-5 gradi.

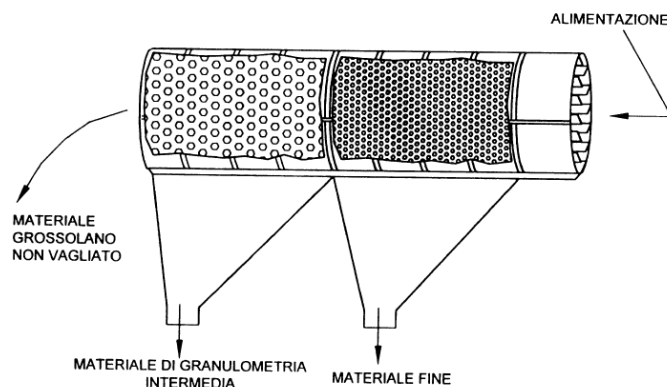



Figura 12. Vaglio a tamburo

Vaglio Vibrante.

Il vaglio vibrante (Figura 13) è adatto per la separazione di rifiuto secco ed è costituito da una serie di griglie con fori di dimensione crescente da valle a monte. Ampiezza e frequenza delle oscillazioni, inclinazione del vaglio e dimensione dei fori determinano le granulometrie finali.

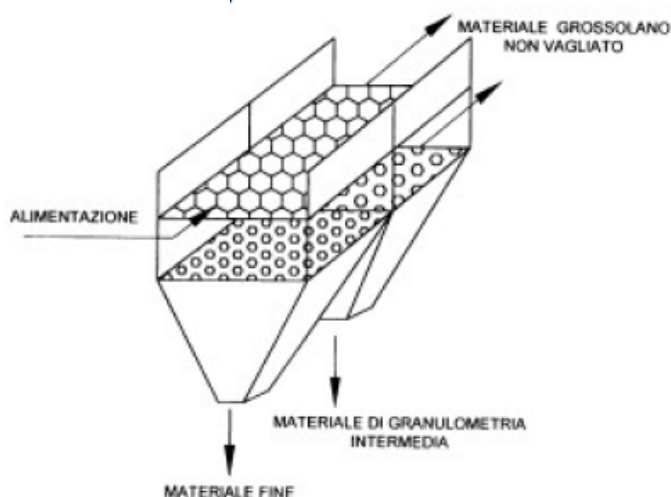



Figura 13. Vaglio vibrante

Vaglio a disco.

Il vaglio a disco (Figura 14) è costituito da una serie di assi orizzontali e paralleli tra loro dotati di dischi rotanti opportunamente sagomati. La disposizione dei dischi e la distanza tra gli assi crea automaticamente degli intersiti in cui cade il materiale vagliato.

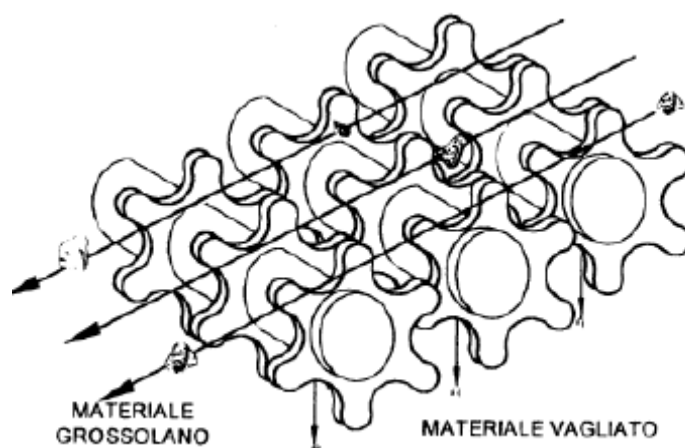



Figura 14. Vaglio a disco.

Separazione gravimetrica

Classificatori ad aria.

È la tecnica più usata per la separazione rifiuti solidi. I separatori di questo tipo sfruttano un flusso d'aria per separare il materiale in due frazioni: la frazione leggera trasportata dall'aria e poi da questa separata in camere di calma e la frazione pesante, non trasportata dall'aria, che resta sul fondo dei separatori. I parametri su cui si basa la classificazione ad aria sono: dimensione delle particelle, peso specifico e forma. Parametri che influiscono sull'efficienza sono: rapporto in peso aria/solidi e umidità.

Esistono vari tipi di classificatori ad aria, tra cui:

a) A coltello (Figura 15);
b) A zig-zag (Figura 16);
c) Con ciclone separato (Figura 17).

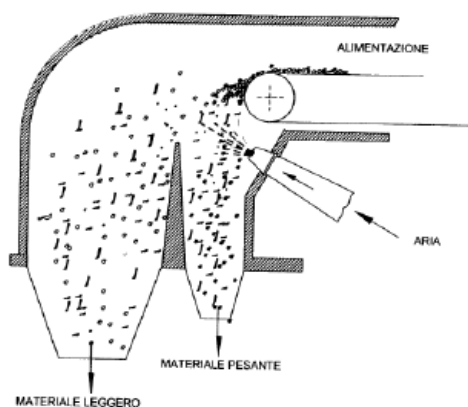



Figura 15. Classificatore ad aria del tipo a coltello

Figura 16. Classificatore ad aria a zig–zag.

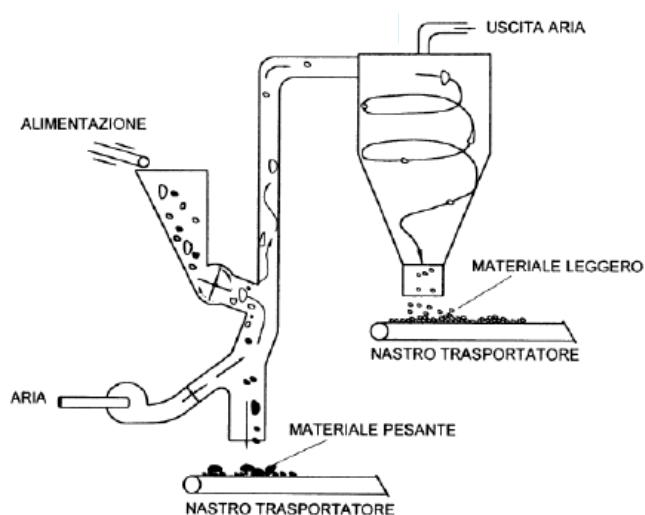



Figura 17. Classificatore ad aria a ciclone separato.

Separatori gravimetrici a letto fluido a secco.

I separatori gravimetrici a letto fluido del tipo a secco (Figura 18) consistono in un nastro poroso e leggermente inclinato (5°) attraversato da un flusso d'aria. L'azione di sostentamento data dall'aria, fa sì che si produca un effetto di fluidificazione e di stratificazione del rifiuto, in base alle differenti velocità di sedimentazione dei composti. Pertanto il materiale leggero è tenuto in sospensione dall'aria iniettata attraverso i fori del nastro e viene spinto in direzione opposta a quella di avanzamento del nastro, mentre il materiale pesante viene trasportato sul nastro.

Esiste un'ulteriore configurazione per questi separatori gravimetrici che non prevede la presenza di un nastro trasportatore, bensì di un piano vibrante. L'effetto di fluidificazione e di stratificazione del rifiuto è incrementato grazie all'azione della vibrazione del piano d'appoggio. In base alle differenti velocità di sedimentazione dei composti: il materiale più leggero, tenuto in sospensione dal letto d'aria, si raccoglie nella parte bassa del piano, mentre le parti più pesanti vengono trascinate dalle vibrazioni verso la parte alta.

Parametri di regolazione della separazione:

- velocità dell'aria insufflata
- pendenza longitudinale della tavola
- frequenza e ampiezze della vibrazione dissimetrica o velocità del nastro trasportatore

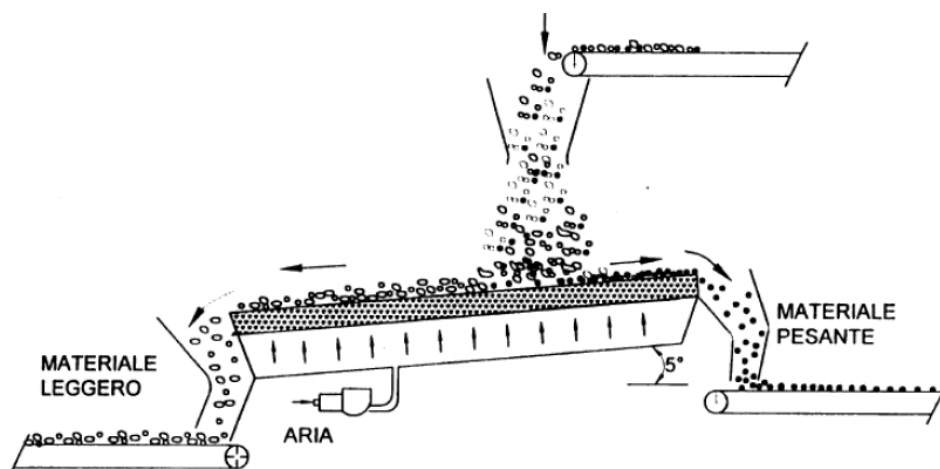



Figura 18. Separatore a gravimetrico a letto fluido a secco.

Separatori gravimetrici a letto fluido ad umido.

In questi separatori gravimetrici (Figura 19) agiscono tre diversi effetti: l'azione dell'aria iniettata attraverso il piano vibrante, l'azione delle vibrazioni e la presenza di un fluido separatore (acqua mescolata a soluzioni saline oppure polveri di magnesite e ferrosilicati). I materiali più densi si depositano sul fondo della vasca riempita di liquido e successivamente trasportati mediante le vibrazioni, mentre quelli meno densi galleggiano sulla superficie del liquido.

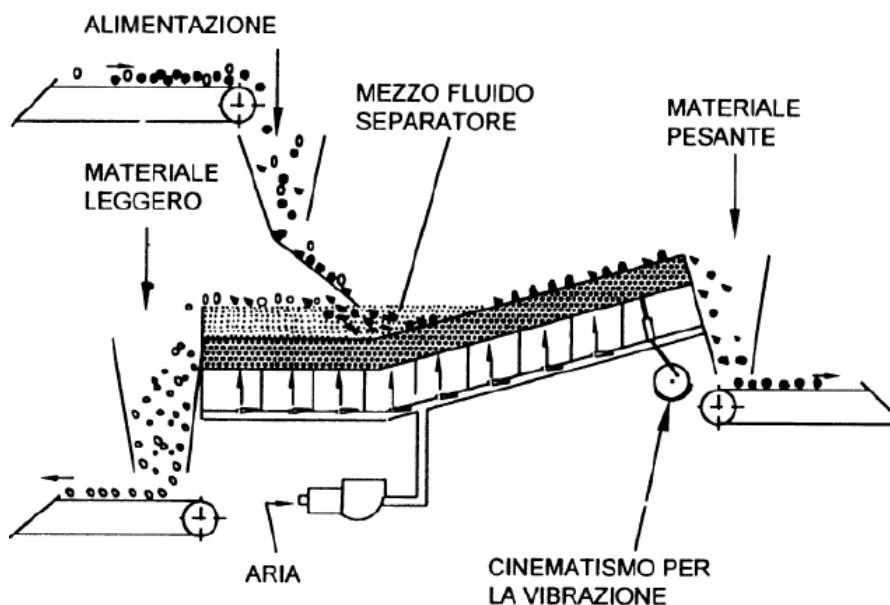



Figura 19. Separatore gravimetrico a letto fluido ad umido.

Separatori balistici.

I separatori balistici sono in grado di compiere la separazione delle parti del rifiuto trattato sfruttando le differenze di densità e di elasticità esistenti tra ciascuna di queste.

Un separatore balistico che sfrutta le differenze di densità dei materiali che costituiscono i rifiuti da trattare è composto da un rotore ad alta velocità che, svolgendo un'azione di lancio del rifiuto convogliato da un nastro trasportatore, ne classifica le componenti in base alle distanze raggiunte, tanto maggiori quanto più elevata è la loro densità (Figura 20).

Invece, un separatore balistico che sfrutta le differenze di elasticità dei materiali è costituito da un nastro trasportatore ad alta velocità che lancia il rifiuto contro una parete costituita da un disco di gomma, che ruota in un piano ortogonale a quello di lancio. Le componenti del rifiuto rimbalzano con traiettorie diverse a seconda della loro elasticità. Le frazioni leggere e pesanti vengono quindi separate e raccolte al piede del disco (Figura 21).

Figura 20. Separatore balistico densimetrico.

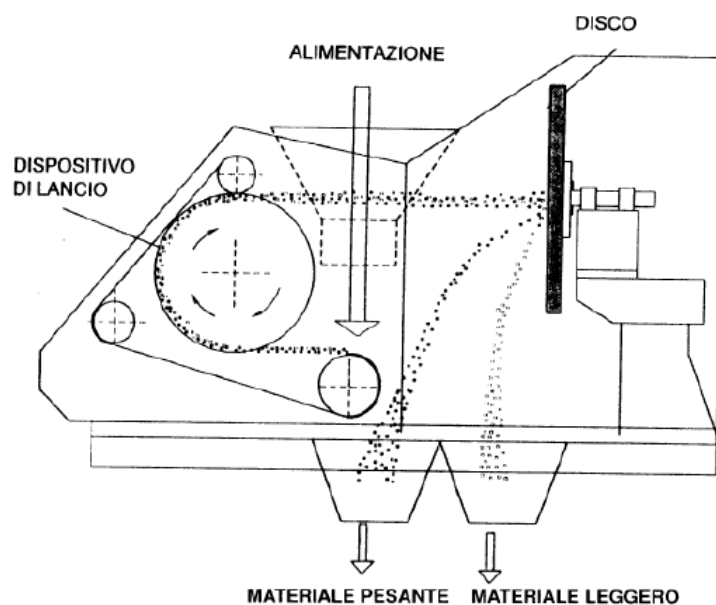



Figura 21. Separatore balistico per differenza di elasticità.

Separatori balistici stazionari

Questo tipo di separatore balistico si differenzia dagli altri due in quanto è in grado di sfruttare sia le differenze di elasticità che di densità dei diversi materiali.

La macchina è composta da una serie di pale parallele dotate di moto orbitale, disposte inclinate di circa 5-15° rispetto all'orizzontale (Figura 22). La velocità di rotazione delle pale, imprime alle diverse frazioni presenti nel rifiuto diverse traiettorie. Le frazioni leggere tendono ad avanzare verso l' estremità alta delle pale mentre la frazione pesante tende a 'rotolare' verso l'estremità bassa delle stesse. Inoltre, grazie ai

continui scuotimenti del materiale, si ottiene anche una vagliatura delle polveri e della frazione più fine attraverso la superficie forata delle pale, la foratura delle quali è dimensionata in base alla pezzatura desiderata dello scarto. Questo tipo di separatore balistico permette anche la selezione del materiale in base alla sua forma, infatti, alla base si viene a raccogliere, insieme alla frazione pesante, anche la "frazione rotolante" cioè rifiuti costituiti da bottiglie, lattine, oggetti cilindrici od ovali. All'estremità opposta, insieme alla frazione leggera, si raccoglie il materiale avente forma "piatta" come fogli, film, tessuti ecc.

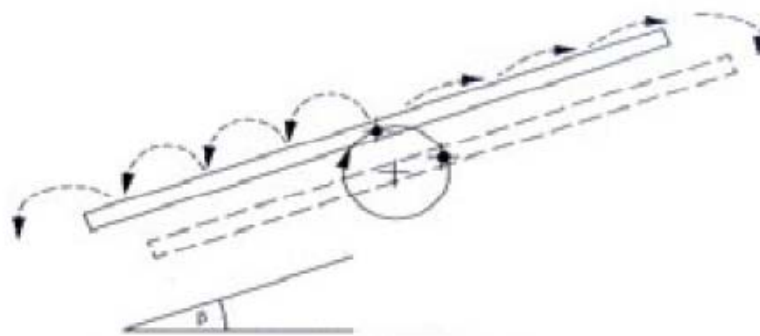



Figura 22. Separatore balistico stazionario.

Separatori magnetici.

I separatori a magneti sono utilizzati per separare i metalli ferrosi. Sono adatti per lavorare su materiali a pezzatura uniforme, e permettono di ottenere ferro esente da plastiche, stoffa, carta.

Separatori magnetici a nastro

Il materiale da trattare è movimentato da un trasportatore orizzontale a nastro. In prossimità dell'estremità di scarico è opportunamente disposto, un po' più in alto, un secondo nastro trasportatore, palettato, avente un magnete tra i due rulli di traino. Il materiale ferroso presente nel prodotto da trattare, attratto dal magnete, resta adiacente al nastro palettato, e viene trasportato in una zona di raccolta, mentre il materiale non ferroso cade subito all'uscita dal primo nastro (Figura 23). Il magnete può essere permanente o un elettromagnete.

Figura 23. Separatore magnetico a nastro.

Separatori magnetici a tamburo

Il separatore a tamburo non ha il magnete inserito nella zona "interna" del nastro (cioè tra i rulli di traino), ma direttamente dentro un tamburo rotante di traino del nastro o esterno. È configurato come un nastro trasportatore palettato, inclinato, che porta il materiale da separare verso l'estremità a quota più elevata; uno dei due rulli di traino del nastro (quello più in alto, in corrispondenza della sezione di scarico del materiale) ha al proprio interno il magnete. Il materiale ferroso presente nel prodotto da trattare, attratto dal magnete, resta adiacente al nastro per un tratto più lungo rispetto al materiale non ferroso. I due flussi, nella caduta, seguono traiettorie differenti; tramite un deviatore opportunamente disposto nella parte sottostante la zona di caduta del materiale, è possibile raccogliere separatamente i due flussi (Figura 24).

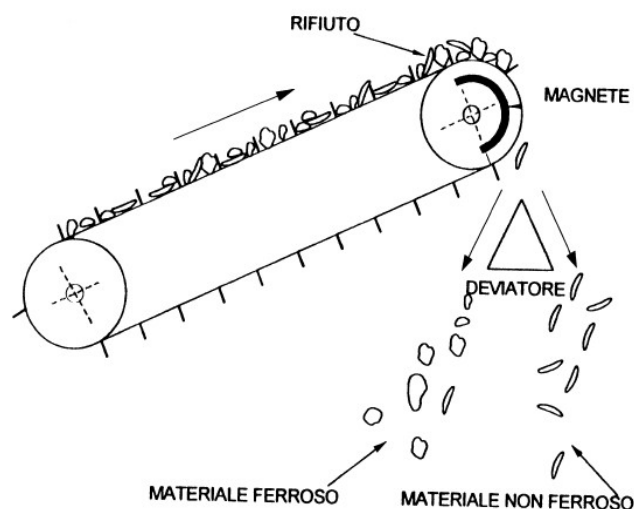



Figura 24. Separatore magnetico a singolo tamburo.

Il separatore a elettromagnete è adatto a flussi medio-grandi (da 10 a 30 ton/h), e lavora su pezzature medio-grandi (entro i 40 cm), la tecnologia è costosa e ha consumi energetici elevati; il separatore a magnete permanente, invece, è più adatto a pezzature contenute (inferiori a 20 cm), e i pezzi di ferro devono avere pesi inferiori a 3 kg; il separatore a puleggia magnetica, infine, è adatto a pezzature piccole (inferiori a 10 cm), può essere usato in combinazione con gli altri sistemi ed è il più economico.

Separatori elettrostatici.

Oltre alla separazione dei metalli ferrosi dal rifiuto, è possibile recuperare i metalli non ferrosi, quali l'alluminio, il rame, l'acciaio inox puro, l'ottone, ecc. Il separatore per metalli non ferrosi è detto anche "a correnti indotte" o ECS ("*Eddy Current System*").

Il sistema si basa sul seguente principio fisico: i componenti metallici, esposti a un campo magnetico ad alte frequenze, sono percorsi da correnti di Foucault che creano un campo magnetico che si oppone alla causa che l'ha generato. Risulta quindi una forza di repulsione che tende ad allontanarli dalla sorgente del campo magnetico.

Quindi, questo sistema separa quei materiali metallici che non risentono dell'attrazione/repulsione magnetica ma che sono in grado di caricarsi elettricamente per effetto di un campo magnetico variabile.

Un separatore per metalli non ferrosi del tipo "a rullo induttore" è configurato come un separatore a tamburo, ma all'interno del rullo di estremità è presente un rotore magnetico, avente campo magnetico a polarità alternata (nord-sud) attorno alla propria circonferenza, posto in rotazione ad elevata velocità.

Le componenti metalliche non ferrose presenti nel rifiuto vengono allontananante dal materiale rimanente e cadendo seguendo una traiettoria differente rispetto gli altri materiali, possono essere quindi recuperate tramite appositi deviatori. (Figura 25)

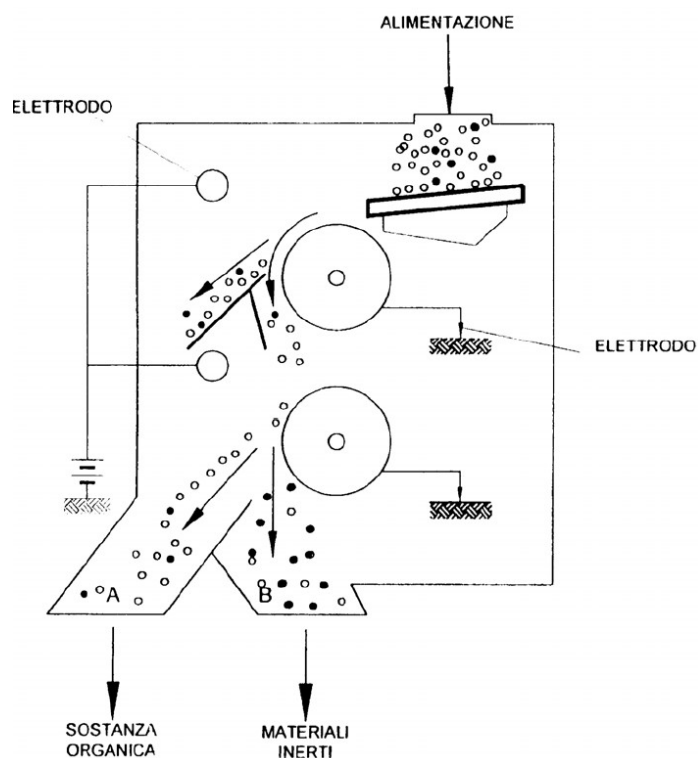



Figura 25. Separatore elettrostatico.

Il trattamento biologico

Il trattamento biologico consiste in una serie di processi e reazioni chimiche che portano all'inertizzazione della matrice organica dei rifiuti. I fattori fisico-chimici che condizionano l'andamento delle reazioni biologiche che caratterizzano il processo di biotrasformazione sono i seguenti:

- la concentrazione di ossigeno e l'aerazione;
- la ricerca delle condizioni termometriche ottimali nelle diverse fasi del processo;
- l'umidità, che deve essere sufficiente alle attività microbiche, ma non eccessiva in quanto occupando gli spazi vuoti ostacolerebbe il rifornimento di ossigeno;
- gestione, controllo ed abbattimento dei potenziali agenti odorigeni delle fasi critiche, individuabili soprattutto in quelle iniziali.

Lo strumento principale di gestione del processo è rappresentato dalla areazione della biomassa, che può essere naturale (per diffusione) o forzata. L'aria fa da vettore di ossigeno, garantendo l'aerobiosi del processo; contemporaneamente assicura il drenaggio di calore (soprattutto nel caso dell'areazione forzata, le deboli correnti convettive che si hanno nel caso dell'areazione naturale danno un contributo limitato alla termoregolazione), e consente, dunque, il controllo termico delle condizioni di processo, evitando il sovrariscaldamento della biomassa; infine, senza una sufficiente ossigenazione, la biomassa diventa anossica e la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti caratterizzati da odore aggressivo ed elevata fitotossicità; la canalizzazione delle arie esauste ne consente il trattamento con le tecnologie specifiche di abbattimento e/o dispersione degli odori.

Il sistema di areazione, naturale o forzata, deve poi essere coordinato con la eventuale movimentazione/rivoltamento della biomassa a seconda delle principali caratteristiche della biomassa stessa, quali la sua altezza, porosità e fermentescibilità;

Esistono diverse configurazioni impiantistiche di trattamento biologico che, da un punto di vista tecnologico, possono essere distinte in 4 tipologie:

1) Digestione Anaerobica;
2) Digestione Aerobica;
3) Biostabilizzazione;
4) Biodisidratazione o Bioessiccazione.

Digestione Anaerobica

La Digestione anaerobica consiste nella scissione biochimica del materiale organico in condizioni di assenza d'ossigeno. Avviene esclusivamente in reattori chiusi e coinvolge quattro reazioni principali:

a) Idrolisi: le molecole vengono scisse in composti più semplici come monosaccaridi, amminoacidi e acidi grassi.
b) Acidogenesi: i composti vengono scissi in composti ancora più semplici come gli acidi grassi volatili (ad esempio: acido acetico, propinico, butirrico e valerico), con produzione di ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico quali sottoprodotti.
c) Acetogenesi: le molecole semplici sono ulteriormente digerite producendo biossido di carbonio, idrogeno e principalmente acido acetico.
d) Metanogenesi: produzione di metano, biossido di carbonio e acqua.

Solitamente i primi tre stadi avvengono in un unico reattore dedicato e la reazione viene chiamata acetogenesi. La reazione di metanogenesi avviene in un altro reattore. Si dice quindi che il trattamento avviene in "due stadi". È possibile far avvenire tutte le reazioni in un unico stadio, allora la digestione si dice "a singolo stadio".

Lo scopo del processo è quello di ottenere una stabilizzazione del rifiuto, intesa come riduzione almeno del 50% della frazione volatile, con conseguente riduzione del rapporto C/N e contemporaneamente un recupero energetico del biogas prodotto. Infatti, la degradazione biologica della sostanza organica in condizione di anaerobiosi (in assenza, cioè, di ossigeno molecolare, come O_2, o legato ad altri elementi, come nel caso dell'azoto nitrico, NO_3^-), determina la formazione di diversi prodotti, i più abbondanti dei quali sono due gas: il metano ed il biossido di carbonio. Qualora si considerino substrati organici complessi, si possono ottenere ulteriori prodotti del processo degradativo anaerobico, tra quelli di maggior rilievo, troviamo l'ammoniaca derivante dalla degradazione delle proteine.

La digestione anaerobica viene anche distinta in base al tipo di batteri impiegati:

a) Digestione mesofila;
b) Digestione termofila;
c) Digestione psicrofila.

Nel primo caso, la temperatura all'interno del reattore è compresa tra 35 e 41 °C, mentre nel secondo caso la temperatura è compresa tra i 57 e i 70 °C. Infine, nel terzo caso la reazione avviene a 20°C ma è una tecnica poco utilizzata.

I prodotti della digestione anaerobica sono:

a) Biogas che viene bruciato da cogeneratori per la produzione di energia termica ed elettrica oppure immesso in rete dopo purificazione;
b) Digestato che deve subire ulteriori processi di trasformazione grazie ai quali si ottiene un materiale completamente biostabilizzato;
c) Acqua che viene in parte riciclata e riutilizzata nel processo e in parte inviata all'impianto di purificazione.

Infine si distingue la digestione anaerobica in:

a) Digestione ad umido dove la massa organica ha un contenuto di solidi inferiore al 10%;
b) Digestione a secco dove la massa organica ha un contenuto di solidi superiore al 20%;
c) Digestione semi secco con un contenuto di solidi dal 10 al 20 %.

Processo wet (Digestione ad umido)

La digestione ad umido o "*wet*" è stato il primo processo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività nel processo di digestione anaerobica dei fanghi negli impianti di trattamento acque reflue. Nei processi di tipo *wet* il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 10%, attraverso il ricorso a diluizione con acqua così da poter poi utilizzare un classico reattore completamente miscelato come quelli impiegati nella stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione. In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto, finalizzata alla rimozione di plastiche ed inerti e di corpi grossolani che potrebbero danneggiare gli organi meccanici del reattore, uno stadio di miscelazione in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee e un opportuno contenuto in solidi. La diluizione può avvenire tramite aggiunta di acqua di rete o dal parziale ricircolo dell'effluente del reattore. La Figura 26 riporta un tipico schema di processo ad umido.

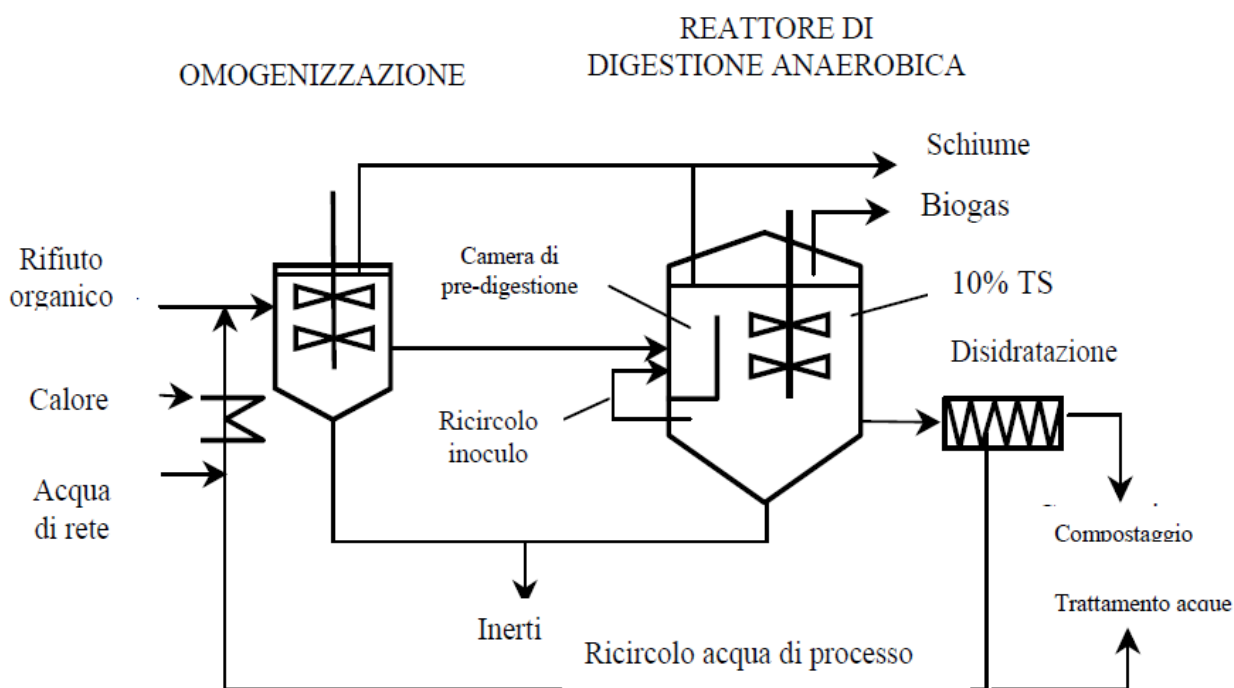



Figura 26. Schema di processo wet a fase singola [5].

A causa delle caratteristiche fisiche dei rifiuti trattati non è solitamente possibile ottenere una miscela omogenea e pertanto si osserveranno all'interno del reattore tre fasi separate, caratterizzate da distinte densità. La frazione più pesante tenderà ad accumularsi sul fondo del reattore e può determinare danni nel sistema di miscelazione se il rifiuto trattato non è sufficientemente pulito, mentre materiali leggeri e schiume si accumulano nella parte superiore del reattore. La fase a densità intermedia è quella in cui avvengono, per lo più, le effettive reazioni di degradazione e produzione del biogas. Nella gestione dell'impianto sono generalmente previste saltuarie rimozioni sia dello strato più pesante, presente sul fondo del reattore, che di quello leggero. Uno dei problemi, che può essere connesso con la digestione

anaerobica ad umido, consiste nella corto-circuitazione idraulica del reattore cioè, il flusso di materiale entrante, non perfettamente miscelato con il materiale già presente nel reattore, fuoriesce con tempi di ritenzione ridotti rispetto a quelli previsti da progetto. Ciò, oltre a determinare una minore degradazione del substrato trattato, e quindi una minor produzione di biogas, può determinare problemi di igienizzazione dei fanghi effluenti. Per questo motivo alcuni brevetti prevedono uno step di pastorizzazione dell'effluente dal reattore di digestione.
I tipici vantaggi e svantaggi dei processi di digestione ad umido, evidenziati in anni di applicazione, sia dal punto di vista tecnologico, biologico che economico/ambientale, sono riportati in Tabella 3. Vantaggi e svantaggi del processo wet [5]..

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Know-how Co-digestione liquami	- Corto-circuitazione idraulica; - Fasi separate di materiale leggero e pesante; - Abrasione delle parti meccaniche dovuta a sabbie e inerti; - Pretrattamenti complessi;
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato e/o sostanze tossiche influenti il reattore	- Forte sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici variabili; - Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pretrattamenti;
Economico ed ambientale	Spese ridotte per i sistemi di pompaggio e miscelazione	- Pretrattamenti complessi e costosi; - Volumi dei reattori elevati; - Produzione di acque di processo elevata

Tabella 3. Vantaggi e svantaggi del processo wet [5].

Processo dry (Digestione a secco)

Nell'ultimo decennio si è osservata la crescita del sistema "*dry*" o a secco. Nei processi *dry* il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 25-40%, pertanto, solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati. Ciò non comporta significative variazioni dal punto di vista biochimico e microbiologico nel processo anaerobico, ma determina la necessità di una completa revisione dei metodi di trattamento per quanto concerne la tecnologia dei reattori. Sono, infatti, necessari particolari metodi di pompaggio e miscelazione. Infatti, a causa delle proprietà reologiche dei flussi trattati, il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato con speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi. Ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti. Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno. L'unico pre-trattamento richiesto è una preliminare vagliatura al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm.
Dal momento che i pre-trattamenti sono limitati non si osserva perdita di materiale organico biodegradabile, come può invece avvenire nel corso dei pre-trattamenti per materiale da trattare con processi *wet* e *semi-dry*.

A causa della elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento *dry* non sono del tipo completamente miscelato (CSTR), ma con flusso parzialmente o totalmente a pistone (*plug-flow*): ciò rende i reattori più semplici dal punto di vista meccanico, ma comporta problemi di miscelazione tra il rifiuto organico fresco e la biomassa fermentante. La risoluzione di questo problema è fondamentale per evitare fenomeni localizzati di sovraccarico organico ed eventuale acidificazione che porterebbe ad inibizione del processo metanigeno.
Il fatto di operare con flussi molto densi porta, inoltre, al superamento del problema della suddivisioni di tre fasi distinte all'interno del reattore, come poteva invece avvenire nei processi *wet*. Le principali tecnologie presenti sul mercato ed i processi adottati per questo tipo di rifiuti si differenziano essenzialmente per la fluidodinamica del reattore utilizzato. La Figura 27 riporta alcune possibili soluzioni impiantistiche.

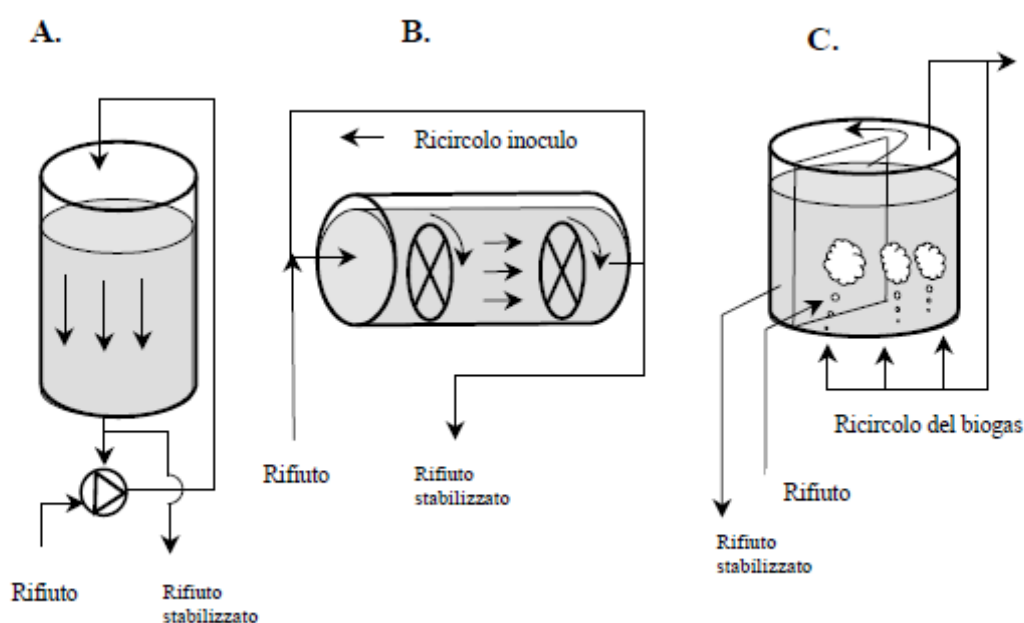



Figura 27. Differenti tipologie di reattore nei sistemi dry (A = processo Dranco; B = processo Kompogas; C =processo Valorga). [5]

Nel processo Dranco la miscelazione tra rifiuto influente e biomassa avviene grazie al ricircolo dell'effluente estratto dal fondo dal digestore anaerobico che viene pompato nella parte superiore del reattore stesso; il tipico rapporto di ricircolo è una parte di rifiuto fresco per sei parti di effluente ricircolato. Questo tipo di processo ha dimostrato di operare con efficacia con rifiuti con un tenore in solidi nell'intervallo 20-50%.
Il processo Kompogas utilizza un reattore cilindrico in cui il flusso a pistone prosegue orizzontalmente. Il moto di avanzamento del materiale trattato è assistito da miscelatori a lenta rotazione posti internamente al reattore che omogeneizzano il materiale trattato, lo degasano, e risospendono il materiale inerte grossolano. Il sistema ha dimostrato di operare con buona efficienza quando il rifiuto trattato presenta concentrazioni in solidi del 25%, per valori inferiori si è osservata la tendenza all'accumulo di materiale inerte grossolano (sabbie e vetro) sul fondo del reattore, mentre, per concentrazioni maggiori, si osserva una eccessiva resistenza al flusso orizzontale del materiale all'interno del reattore.

Un altro processo dry, diffuso in centro Europa, è il processo Valorga. Anche in questo caso si ricorre a reattori di forma cilindrica in cui il flusso a pistone del materiale trattato è di tipo circolare e la miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori ogni 15 minuti circa. La miscelazione sembra avvenire con notevole efficacia dal momento che il ricircolo di parte dell'effluente si è dimostrato non necessario. D'altra parte gli iniettori di biogas, a causa della loro posizione, possono essere soggetti a problemi di intasamento. Come nel caso del processo Kompogas c'è la necessità di ricircolare l'acqua di processo al fine di raggiungere una concentrazione di sostanza solida del 30% nel rifiuto da trattare. Per contro, concentrazioni più basse, fino al 20% TS, determinerebbero seri problemi di accumulo di materiale inerte sul fondo del reattore.
Dal punto di vista economico si evidenzia come, nel caso dei processi di tipo *dry*, gli elevati costi di investimento iniziale sono dovuti alla necessità di dotarsi di sistemi di trasporto e pompaggio del rifiuto organico da trattare che siano particolarmente resistenti e tecnologicamente avanzati. Per contro, operando con rifiuti ad elevata concentrazione di sostanza solida, non sono necessari pre-trattamenti particolarmente raffinati ed i volumi dei reattori necessari sono ridotti: quindi le spese di costruzione dei reattori sono minori rispetto ai processi *wet*. La ridotta dimensione del reattore si ripercuote poi favorevolmente in fase di esercizio sul bilancio energetico del reattore, dal momento che è necessario riscaldare una minor quantità di rifiuto da trattare.
Una differenza fondamentale tra i processi di tipo *dry* e quelli di tipo *wet* consiste nel ridotto utilizzo, nel primo caso, di acqua per la diluizione dei rifiuti. Ne consegue che la quantità di acqua di scarico sarà ridotta. Alcuni autori riportano, inoltre, una migliore igienizzazione del prodotto finale nel caso di processi dry operanti in regime termofilo. I principali vantaggi e svantaggi dei processi *dry* sono riportati in Tabella 4. Vantaggi e svantaggi dei processi dry [5]. OLR = carico organico (kg SV/m^3*d)..

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	- Nessun bisogno di miscelatori interni al reattore; - Robustezza e resistenza ad inerti pesanti e plastiche; - Nessuna corto circuitazione idraulica	- Rifiuti con basso tenore in sostanza solida (< 20%TS) non possono essere trattati da soli;
Biologico	- Bassa perdita di sostanza organica; - Elevati OLR applicabili; - Resistenza a picchi di concentrazione di substrato o sotanze tossiche	- Minima possibilità di diluire sostanze inibitorie e carichi organici eccessivi con acqua fresca;
Economico ed ambientale	- Pre-trattamenti minimi e più economici; - ridotti volumi dei reattori; - Ridotto utilizzo di acqua fresca; - Minime richieste di riscaldamento del reattore.	- Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per il trattamento.

Tabella 4. Vantaggi e svantaggi dei processi dry [5]. OLR = carico organico (kg SV/m^3*d).

Processo semi-dry

Nella digestione *semi-dry* il contenuto di sostanza solida che caratterizza il rifiuto trattato si pone nell'intervallo intermedio rispetto ai processi *wet* e *dry* (10-20%). Dal punto di vista impiantistico la soluzione adottata è quella di un reattore miscelato (CSTR) che può operare tanto in regime mesofilo che termofilo. Il rifiuto organico proveniente da raccolta differenziata presenta caratteristiche che sono generalmente ottimali per l'applicazione diretta del processo, ricorrendo solamente a semplici pre-trattamenti di pulizia del rifiuto con eliminazione del materiale ferroso e di quello inerte grossolano seguito da triturazione e miscelazione. Operando, invece, con rifiuti organici derivanti da raccolta indifferenziata con un elevato contenuto di sostanza solida, e derivanti dalla separazione meccanica dei rifiuti urbani indifferenziati, è necessario procedere ad un pre-trattamento di pulizia del rifiuto piuttosto spinto e poi ad una diluizione del rifiuto con acqua, che potrà essere, di volta in volta, acqua di processo riciclata, o acqua fresca.

Il pretrattamento comporta inevitabilmente la perdita di parte del materiale organico biodegradabile, che può arrivare al 15-25% in termini di sostanza volatile.

Anche in questo processo, come nei processi di tipo *wet*, si osserva la formazione di tre fasi distinte all'interno del reattore, anche se, in generale, il fenomeno è meno accentuato. Sarà comunque necessario prevedere, di tanto in tanto, lo svuotamento e la pulizia del fondo del reattore.

Il sistema di miscelazione è generalmente garantito da miscelatori meccanici che possono essere inoltre coadiuvati da lance a gas che provvedono a ricircolare il biogas prodotto per incrementare l'efficienza di miscelazione. Può essere, inoltre, previsto il ricircolo del materiale presente nel digestore inviato alla caldaia e poi reimmesso nei digestori. I principali vantaggi e svantaggi del processo *semi-dry* sono riportati in Tabella 5. Vantaggi e svantaggi del processo semi dry [5]..

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	- Semplicità dei sistemi di pompaggio e miscelazione; - possibilità di trattare il rifiuto da raccolta differenziata senza particolari pre-trattamenti.	- Accumulo di materiali inerti sul fondo del reattore e necessità di scaricarli; - abrasione delle parti meccaniche; - pre-trattamenti complessi per RSU indifferenziato;
Biologico	- Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche;	- Sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici; - perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti del rifiuto indifferenziato;
Economico ed ambientale	- Spese ridotte per sistemi di pompaggio e miscelazione.	- Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i pretrattamenti e per i volumi dei reattori; - produzione di elevate quantità di acque di processo.

Tabella 5. Vantaggi e svantaggi del processo semi dry [5].

Processo di digestione a due fasi

Questo tipo di approccio prevede la separazione fisica della fase idrolitica e fermentativa dalla vera e propria fase metanigena. I due processi avvengono infatti in reattori separati. Dal momento che i processi vengono separati ed avvengono in condizioni ottimali, le rese del processo in termini di degradazione della sostanza biodegradabile e di produzione di biogas sono ottimizzate. Nella prima fase si osserverà quindi la fase di idrolisi ed acidogenesi secondo una cinetica di primo ordine limitata dalla presenza di cellulosa, mentre la seconda fase è deputata alla acetogenesi e metanogenesi. Qui la velocità limitante è quella di crescita della biomassa metanigena.
Si è comunque osservato che, nonostante i maggiori sforzi in termini tecnologici e di investimenti, molto spesso i sistemi a due fasi non consentono incrementi delle rese in termini di produzione di biogas tali da giustificare i maggiori costi di investimento e di gestione. Il maggior vantaggio consiste, piuttosto, nella capacità di trattare alcuni tipi particolari di rifiuto organico che vengono in genere evitati nei sistemi a fase unica, quali ad esempio particolari residui agro-industriali o zootecnici che presentano rapporti C/N < 20.
I processi a due stadi possono essere operati con o senza ritenzione della biomassa nel secondo stadio del processo. A seconda di questa particolarità costruttiva si hanno diverse rese del processo.

Processo batch

Nei processi *batch*, il reattore di digestione viene riempito con materiale organico ad elevato tenore di sostanza solida (30-40% TS), in presenza o meno di inoculo, e viene quindi lasciato fermentare. Il percolato, che si produce durante il processo degradativo, viene continuamente ricircolato. La temperatura del processo risulta elevata. Attualmente i processi batch non sono diffusi sul mercato, ma data la loro economicità e semplicità potrebbero in futuro trovare applicazione.
Il processo opera di per se stesso per fasi successive. Si ha, dapprima, una fase idrolitica ed acidogenica, seguita da una fase in cui gli acidi grassi volatili vengono trasformati in metano.

Digestione Aerobica

La digestione aerobica (o compostaggio) consiste nella decomposizione e umificazione di materiale organico da parte di macro e microrganismi in condizioni di presenza di ossigeno. Può avvenire in reattori chiusi, solitamente di forma cilindrica, posti orizzontalmente o verticalmente; oppure in pile e mucchi posti all'aria aperta ("*windrow*"), che possono essere statici o periodicamente rivoltati. Nei reattori si ha il pieno controllo dei parametri di digestione come temperatura, umidità, contenuto di ossigeno e pH, pertanto il tempo di permanenza del materiale nel reattore è inferiore rispetto al sistema *windrow*.
Anche in questo caso, la digestione aerobica si distingue in:

a) Mesofila o termofila;
b) Ad umido o a secco.

Il risultato del compostaggio aerobico è un materiale completamente biostabilizzato che può essere impiegato come compost in campo agricolo o per bonifiche ambientali e ricopertura di discariche; oppure può essere conferito direttamente in discarica.

Trattamento aerobico in cumuli con rivoltamento periodico

Il trattamento aerobico secondo tale metodo si attua disponendo la matrice di partenza in lunghi cumuli (*windrows*), normalmente a sezione triangolare o trapezoidale più o meno rastremata, i quali sono movimentati o rivoltati periodicamente.

L'altezza dei cumuli varia a seconda delle caratteristiche del substrato e della macchina movimentatrice. Matrici molto dense (*es*. alcuni tipi di deiezioni animali), che tendono a compattarsi, devono essere sistemate in cumuli di 1,2-1,5 m; d'altra parte, con materiali piuttosto soffici, come i fanghi di depurazione miscelati a scagliette di legno (*wood chips*), si possono formare cumuli di 2-3 m di altezza e talvolta anche più alti. La base dei cumuli varia, di solito, dai 3 ai 6 m.
I cumuli sono aerati principalmente grazie alle correnti d'aria e ai moti convettivi e diffusivi della stessa. Il ricambio d'aria all'interno della matrice dipende dalla porosità del cumulo. Quindi, la dimensione di un cumulo compatibile con una efficiente aerazione è determinata dalla porosità dello stesso. Cumuli troppo grandi tendono a compattarsi, con il rischio di insorgenza di reazioni anaerobiche. Di contro, cumuli di dimensioni modeste perdono calore troppo rapidamente; cosicché, le temperature necessarie per una progressiva evaporazione dell'acqua e per la distruzione degli eventuali organismi patogeni non sono raggiunte.
Il rivoltamento consente il rimescolamento dei materiali contribuendo anche a ridurre la pezzatura delle particelle, con conseguente aumento della superficie disponibile per l'attacco microbico. Esso ripristina anche la porosità della matrice in trasformazione, incrementando, al contempo, gli scambi passivi del vapore acqueo e degli altri gas prodottisi nell'atmosfera interna al cumulo.
L'ossidazione biologica non può essere mantenuta, costantemente, al massimo dell'efficienza poiché, tra una movimentazione e l'altra, la concentrazione di ossigeno costituisce il fattore limitante.
Il rivoltamento permette, inoltre, la ridistribuzione dei differenti strati della matrice: il materiale in superficie viene rimpiazzato da quello proveniente dalle zone interne del cumulo e viceversa. Ciò consente, nel corso del processo, una eguale esposizione di tutta la matrice ora all'atmosfera più ossigenata della superficie, ora alle alte temperature dell'interno del cumulo. In questo modo, la biomassa subisce una stabilizzazione omogenea ed una sufficiente igienizzazione.
La frequenza dei rivoltamenti dipende dal tasso di decomposizione della biomassa, dal contenuto di umidità e dalla porosità del substrato. Dal momento che il tasso di degradazione è, solitamente, molto elevato negli stadi iniziali del processo, la frequenza dei rivoltamenti può diminuire con l'età del cumulo. Matrici molto putrescibili possono richiedere rivoltamenti giornalieri nelle prime fasi del processo. Al progredire della biostabilizzazione, la frequenza delle movimentazioni può essere ridotta fino ad un rivoltamento a settimana. L'insorgenza di emissioni maleodoranti, un rapido declino della temperatura o l'eccessivo accumulo di calore verso i limiti che rischiano di compromettere la vitalità dei microorganismi, sono tutte situazioni che rendono ragionevole un rivoltamento. Durante la stagione riproduttiva delle mosche, i cumuli devono essere rivoltati almeno una volta alla settimana, indipendentemente dall'andamento delle temperature della matrice, in modo da interrompere il ciclo biologico di questi insetti.
Con il progredire del processo di stabilizzazione, le dimensioni dei cumuli si contraggono sensibilmente da rendere opportuna la fusione di due o più cumuli in un unico cumulo che impedisca l'eccessiva dissipazione del calore.
Con il metodo dei cumuli rivoltati periodicamente, la prima fase di decomposizione dura, generalmente, da tre a nove settimane, a seconda della natura del substrato di partenza e della frequenza delle movimentazioni. Per ottenere il superamento della fase di intensa attività biologica in tre-quattro settimane, è necessario procedere a rivoltamenti una o due volte al giorno nel corso della prima settimana di processo, dopo di che, ad un rivoltamento ogni due-tre giorni.

Trattamento aerobico in cumuli statici aerati

Il trattamento aerobico effettuato in cumuli statici aerati elimina la necessità di movimentare il materiale, rendendo possibile l'ossigenazione grazie alla circolazione di aria in appositi sistemi di tubi diffusori. Una prima importante distinzione, nell'ambito del metodo, è tra i sistemi nei quali si applica l'aerazione passiva dei cumuli e sistemi nei quali, invece, si ricorre all'aerazione forzata.
Il processo condotto in cumuli aerati passivamente prevede il trasporto dell'aria all'interno del substrato in trasformazione attraverso un apparato di tubi bucherellati, immersi nel cumulo. Le estremità aperte dei tubi terminano all'esterno del cumulo. L'aria fluisce nei tubi e, per il tramite dei forellini aperti per tutta la lunghezza della porzione immersa nella matrice organica, si diffonde attraverso il profilo del cumulo, grazie all'effetto ciminiera creato dai gas caldi, che si portano verso gli strati esterni per poi fuoriuscire alla superficie del substrato.
I cumuli devono essere non più alti di 1-1,2 m e ricoperti, in superficie, con uno strato di circa 10 cm costituito da compost maturo, paglia o torba di sfagno. Questo strato esterno ha funzioni coibenti e di adsorbimento delle emissioni maleodoranti. Una volta formato, il cumulo non è più movimentato, se non a fine processo, è necessario quindi miscelare bene il substrato di partenza per renderlo quanto più omogeneo e dotato di un'adeguata tessitura, magari ricorrendo all'uso di agenti di supporto lignocellulosici (*es*. paglia triturata, trucioli di legno, *etc.*). I tubi per l'aerazione sono piazzati sul basamento che ospiterà il cumulo, sopra uno strato di compost maturo, paglia o torba, simile a quello con cui verrà coibentata la matrice sottoposta a trattamento. Di solito, i tubi vengono posizionati con i fori rivolti verso il basso in modo da evitare rischi di ostruzione ed il drenaggio della condensa. Quando il processo di compostaggio è completato, i tubi vengono semplicemente sfilati dalla matrice ed il materiale impiegato come coibente viene miscelato al compost.
Tale metodo si è rivelato particolarmente interessante per il trattamento dei residui di alcune industrie conserviere, caratterizzati dalla presenza di sostanze a forte impatto olfattivo o da elevate concentrazioni di composti azotati (*es*. rifiuti della lavorazione di molluschi e crostacei, liquami suinicoli, scarti della macellazione e dell'industria ittica, *etc.*).
Il metodo dei cumuli statici aerati forzatamente si basa sull'uso di apparati che costringono l'aria a fluire attraverso la matrice sottoposta a trattamento aerobico. Questi apparati consentono, in generale, un maggiore controllo del processo. Il rifornimento di aria nella matrice organica in trasformazione può essere attuato in due modi: attraverso aspirazione di aria dalla superficie del cumulo (*suction* o *vacuum induced ventilation*) o per insufflazione forzata di aria nel substrato (*blowing* o *forced pressure ventilation*).
Nei cumuli "aspirati", viene creata una depressione per mezzo del sistema di tubi posizionati nella matrice, sulla platea di trattamento, e connessi con il ventilatore che, in questo caso, agisce da aspiratore. L'aria viene richiamata nel substrato dalla superficie esterna, passa attraverso il profilo del cumulo e viene drenata, al fondo, dal sistema di tubi dotati di fori. L'aria esausta è veicolata all'esterno del cumulo dal tubo di raccordo principale, il quale si immette in un sistema filtrante, prima di connettersi con l'aspiratore. Ciò permette l'abbattimento delle eventuali emissioni maleodoranti ed evita che il vapor acqueo, drenato via dal cumulo assieme all'aria esausta, raggiunga, con il suo carico di sostanze corrosive (acidi organici), l'aspiratore. Il sistema di trattamento aerobico basato sull'aspirazione dell'aria, detto anche *processo Beltsville*, presenta alcuni inconvenienti rispetto al controllo dei parametri di processo.
Nei cumuli "insufflati" invece, il ventilatore funziona come soffiante, inducendo una pressione positiva all'interno della matrice. In questo modo, l'aria esausta viene spinta verso la superficie esterna del substrato e rimpiazzata da quella fresca diffusa dal sistema di tubi alla base del cumulo. Con questo

sistema, il controllo delle eventuali emissioni maleodoranti può essere conseguito mediante la stesura di uno strato (circa 10 cm) di compost maturo alla superficie del cumulo.
L'insufflazione rende possibile, infatti, un miglior controllo della temperatura, che è poi il parametro che maggiormente condiziona il metabolismo microbico durante la fase prima fase di decomposizione.
Un più stretto controllo della deriva termica nei cumuli statici "insufflati" è stato raggiunto assoggettando il funzionamento delle soffianti all'andamento della temperatura all'interno del substrato.
Il sistema di insufflazione forzata dei cumuli governato dalla temperatura (*temperature feed-back control*) viene indicato anche come *processo Rutgers*. Poiché la temperatura è un indice indiretto dell'attività metabolica della biomassa microbica, un sensore termico (termocoppia) è collocato nel cumulo sottoposto a trattamento. In questa maniera, si garantiscono i massimi apporti di aria in coincidenza con le punte più intense di attività microbica. Siccome elevata attività dei microrganismi significa maggiore utilizzazione di ossigeno e produzione di calore, l'aria fornita dalle soffianti "su richiesta" soddisfa, da una parte, le accresciute esigenze di ossigeno, mentre dissipa, dall'altra, il calore in eccesso. Il valore di 55 °C, di solito impostato sul termostato, garantisce il raggiungimento di temperature sufficienti alla disattivazione dei patogeni. Con il *processo Rutgers*, la prima fase di decomposizione si conclude nell'arco di tre-quattro settimane.

Trattamento aerobico in bioreattori

Il trattamento in bioreattore (*in-vessel composting*) prevede la stabilizzazione della biomassa in particolari strutture di contenimento, dove tecniche di movimentazione e di aerazione forzata della matrice sono variamente combinate. Questi "bioreattori" possono essere contenitori chiusi o semplici vasche aperte.
Da un punto di vista delle applicazioni tecnologiche, le più diffuse tipologie di bioreattori sono: i *cilindri rotanti*, i *silos*, le *biocelle* e le *trincee dinamiche aerate*. Cilindri rotanti, silos e biocelle rientrano nella categoria dei reattori chiusi, mentre le trincee dinamiche aerate sono un esempio di reattori aperti. A loro volta, cilindri rotanti, silos e trincee dinamiche aerate, contrariamente alle biocelle, prevedono la movimentazione della biomassa all'interno del reattore.
I cilindri rotanti. Si tratta di grandi cilindri disposti orizzontalmente e sistemati su speciali ingranaggi che ne consentono un lento movimento rotatorio. Il substrato viene alimentato attraverso una tramoggia sistemata ad una estremità del cilindro. La matrice organica, a seguito del movimento rotatorio, viene miscelata e spinta attraverso tutta la lunghezza del cilindro, per poi venir scaricata all'estremità opposta a quella di carico. Le dimensioni più frequenti per questi tipi di cilindri sono 3 m di diametro, per 35 m circa di lunghezza. Considerando un utilizzo massimo del volume interno intorno al 70%, le suddette misure consentono una capacità giornaliera dell'ordine di 50 t, con tempi di residenza del substrato di tre giorni. L'aria è alimentata dalla estremità di scarico della matrice e si muove, nel cilindro, in direzione opposta rispetto all'avanzamento del substrato. La velocità di rotazione e il grado di inclinazione dell'asse del cilindro determinano il tempo di ritenzione del materiale caricato. All'interno, il cilindro può essere completamente aperto oppure diviso in due o tre compartimenti, separati da porte di trasferimento manovrabili. All'interno del cilindro si raggiungono temperature superiori a 55°C che contribuiscono ad una drastica disattivazione degli eventuali microorganismi patogeni.
Questi cilindri rotanti sono costosi e, non apportano alcun giovamento significativo al processo complessivo di stabilizzazione della matrice di partenza. La quasi totalità del processo avviene infatti all'esterno del bioreattore, con i soliti problemi di controllo del processo stesso. Preparazione e igienizzazione del substrato possono essere raggiunti secondo procedure molto più semplici e meno onerose.

I silos. Sono reattori cilindrici, verticali, di solito completamente chiusi. In quelli a configurazione più recente, ogni giorno uno speciale apparato estrattore rimuove dal fondo del reattore la porzione di substrato parzialmente stabilizzata, mentre nuova matrice fresca viene alimentata dall'alto. L'aerazione è attuata per mezzo di un sistema di diffusori posti al fondo del silo. L'aria passa così attraverso tutto il profilo del materiale sottoposto a trattamento. Una volta arrivata al culmine del reattore, l'aria esausta viene convogliata in un filtro per l'abbattimento degli odori. Il tempo di ritenzione del substrato all'interno del silo è normalmente dell'ordine delle due settimane. Dopo la rimozione dal silo, la matrice viene avviata alla fase di completa stabilizzazione in cumulo ovvero in un secondo silo, anch'esso aerato. Inconvenienti principali legati al trattamento in silos sono: la tendenza ad un eccessivo compattamento della biomassa; la difficoltà di aerare in maniera omogenea; la condensa del vapore lungo le pareti fredde del reattore, con conseguente ostacolo della progressiva perdita di umidità ed eccessivo ristagno d'acqua nella matrice. Tutto ciò può limitare il decorso delle reazioni aerobiche e rendere difficile il controllo della temperatura. I silos si prestano al trattamento di matrici organiche particolarmente soffici e ben strutturate.
Le biocelle. L'utilizzo, invece, di biocelle prevede un preliminare trattamento della biomassa all'interno di veri e propri *containers* scarrabili, da sistemarsi in apposita platea cementata, dotati di un impianto di aerazione che consente l'adduzione di aria all'interno del reattore attraverso il pavimento ad intercapedine, perforato. Ogni biocella può contenere da 30 a 60 m^3 di materiale. Il metodo è, a tutti gli effetti, un sistema statico e, perciò, richiede una accurata preparazione della miscela iniziale, sia in termini di bilanciamento dei nutrienti, sia, soprattutto, in termini di adeguata porosità e resistenza meccanica al compattamento. Dopo uno stazionamento di 7-12 giorni all'interno del *container*, la matrice in trasformazione, dopo aver perso buona parte della sua putrescibilità e della tendenza a rilasciare percolato, viene sistemata in cumuli, all'esterno, dove raggiunge la completa maturazione in ulteriori 8 settimane. In conclusione, l'intero ciclo di trattamento con il sistema a biocelle richiede un arco temporale di 9-10 settimane. Le biocelle, come tutti i sistemi di trattamento in reattori chiusi, offrono la possibilità sia di controllare le emissioni di odori, mediante il trattamento dell'aria esausta in uscita per mezzo di biofiltri, sia di gestire razionalmente il percolato. Questi bioreattori possono essere impiegati singolarmente ovvero in batteria di due o più unità.
Le trincee dinamiche aerate. Sono definite anche *letti agitati* ("*agitated beds*"). Questi sistemi combinano l'aerazione controllata del substrato con il periodico rivoltamento dello stesso. Non sono reattori chiusi ed il trattamento delle matrici alimentate avviene in strette corsie o vasche (trincee), delimitate da pareti che corrono soltanto lungo l'asse longitudinale. Più corsie possono essere sistemate, in batteria, una adiacente all'altra. Sul culmine di ogni parete è sistemata una rotaia. Una macchina rivoltatrice si muove a cavallo di ogni corsia, seguendo il binario formato dalle due pareti di contenimento adiacenti. Come la macchina rivoltatrice avanza sulle rotaie, la matrice viene rivoltata e quindi scaricata alle spalle della macchina stessa. La macchina rivoltatrice ha la funzione di miscelare la matrice in trasformazione, favorendone così la omogeneizzazione, mediante la disgregazione di eventuali agglomerati, e incrementando il rilascio di vapore acqueo e di calore. Sul pavimento delle vasche, corrono, in senso longitudinale, delle canalette che ospitano il sistema di diffusione dell'aria, connesso con una serie di soffianti. In questo modo la matrice trattata può essere aerata anche in fase di stazionamento. Nelle applicazioni più diffuse, le trincee hanno una lunghezza di 25-30 m, sono larghe 3-4 m e sono delimitate da pareti alte 1,5-3 m. La lunghezza delle corsie e la frequenza dei rivoltamenti determina i periodi di residenza della biomassa all'interno del reattore. A seconda delle caratteristiche del substrato, i tempi di ritenzione variano da tre a cinque settimane. Questo tipo di bioreattori si è rivelato particolarmente efficace nel trattamento di biomasse ad

elevato contenuto di umidità, come i rifiuti dei mercati ortofrutticoli per la produzione di compost di elevate specifiche qualitative.

Biostabilizzazione

La biostabilizzazione è un trattamento noto anche come MBE (Mechanical Biological end Composting) ed è attualmente tra i più diffusi in Europa ed in particolare in Germania.
L'obiettivo del sistema MBE è ottenere, inseguito alla biossidazione della sostanza organica putrescibile, un prodotto stabile da un punto di vista biologico, tale da potersi ritenere "inerte".
La stabilità biologica viene raggiunta, attraverso un trattamento a "differenziazione di flussi", in cui si individuano tre tappe distinte (Figura 28):

- *pre-trattamento meccanico*: volto a separare la cosiddetta frazione "secca" (sovvallo) dalla frazione umida (sottovaglio) che concentra in sé il materiale organico;
- *stabilizzazione della frazione umida*: in seguito a processi ossidativi da parte di microrganismi, mediante il periodico rivoltamento, aerazione e bagnatura della massa, allo scopo di ottenere un prodotto il più possibile stabile da un punto di vista biologico;
- eventuale *post-trattamento meccanico*: per la raffinazione del materiale da destinare all'attività di ripristino ambientale o alla copertura giornaliera di discariche;

un'alternativa al trattamento a "separazione di flussi" è data da quello a "flusso unico", dove tutto il rifiuto in ingresso all'impianto subisce un trattamento biologico, mentre il trattamento meccanico si limita ad una semplice frantumazione del rifiuto

Figura 28. Descrizione del processo di biostabilizzazione e relativo bilancia di massa.

Bioessiccazione

Il processo di bioessiccamento (Figura 29) per la gestione dei rifiuti è noto in letteratura con la definizione di *Mechanical-Biological and Stabilate Method* (MBS) (Wiemer e Kern, 1996), tale processo ha lo scopo primario di ridurre l'umidità del rifiuto a seguito di una fase di biossidazione della sostanza organica.
Questo processo ha due obiettivi fondamentali:

1. assicurare la stabilità biologica dei rifiuti per lo stoccaggio a lungo termine, in modo tale da ridurre od eventualmente annullare emissioni maleodoranti di gas e polveri, ed igienizzare il rifiuto;
2. produrre un buon substrato per la termoutilizzazione innalzando il potere calorifico del rifiuto.

Il carbonio contenuto nei rifiuti rappresenta il potenziale energetico; è quindi auspicabile ridurre al massimo la decomposizione della sostanza organica al fine di mantenere elevato il potere calorifico. La stabilizzazione del rifiuto avviene tramite la riduzione del contenuto percentuale di umidità fino a valori del 7-15 % (in funzione dell'umidità iniziale); in tali condizioni ogni attività biologica è soppressa e non si ha degradazione.
Il bioessiccamento viene raggiunto attraverso due stadi principali:

- triturazione meccanica blanda del rifiuto tal quale, per aumentarne la superficie di evaporazione e di scambio della massa, ottenendo così un'accelerazione dei processi di bioessiccamento;
- trattamento biologico della matrice precedentemente triturata. Questo stadio avviene a mezzo di aerazione forzata della biomassa, sfruttando il calore sviluppato dalle reazioni biologiche aerobiche.

Il prodotto finale bioessiccato, ottenuto a seguito di una fase di raffinazione, dotato di buon potere calorifico, può essere utilizzato, come combustibile (CDR) in impianti di termoutilizzazione, dove si sfrutta il calore prodotto dalla combustione per il riscaldamento delle abitazioni o lo si converte in altre forme di energia.

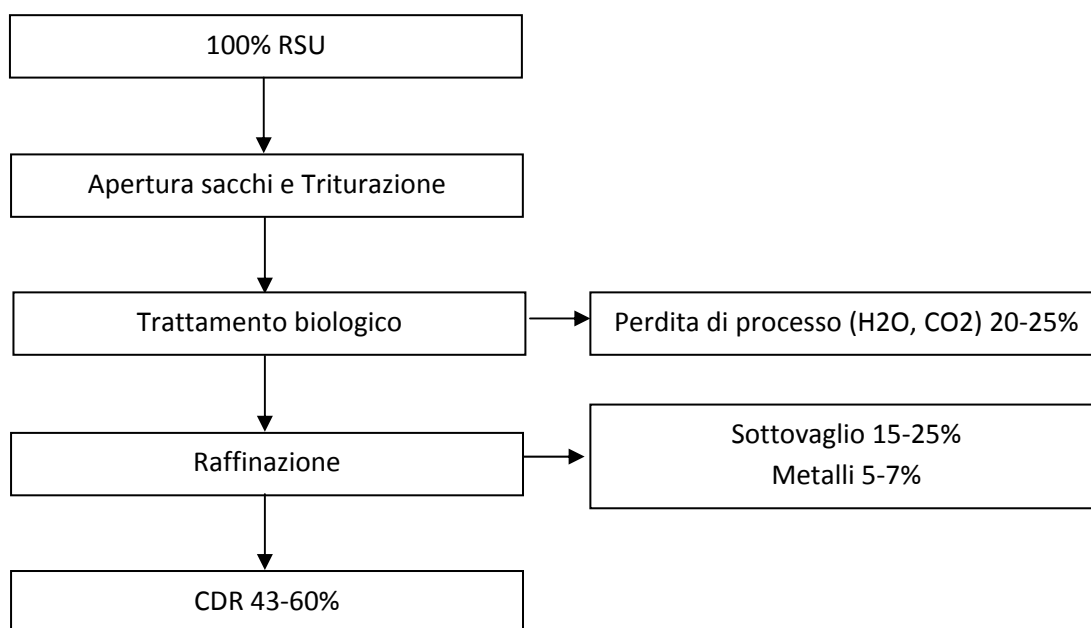



Figura 29. Descrizione del processo di bioessiccazione e relativo bilancia di massa.

Tutte le tecnologie proposte sono molto versatili e possono variare in modo molto marcato in base alle scelte impiantistiche dell'azienda fornitrice del processo. Grazie alla loro versatilità possono essere integrate tra di loro e nessuna tecnica esclude l'altra.
Di seguito sono riportate le schede riassuntive di alcuni processi di TMB proposti da alcune aziende di importanza internazionale nel campo del trattamento a freddo dei rifiuti.

Processo ArrowBio

Il TMB proposto da ArrowBio consente di trattare rifiuti solidi urbani indifferenziati. Il sistema prevede un pretrattamento meccanico ad acqua e una digestione ad umido a due stadi. L'obiettivo del pretrattamento è quello di trasformare i rifiuti in ingresso in una sospensione che possa essere trattata in modo analogo alla depurazione delle acque.

Il processo è stato sviluppato nel corso di oltre 10 di ricerca e attualmente è alla base dell'impianto di Tel Aviv commissionato nel 2003 per il trattamento di rifiuti indifferenziati. L'impianto di Tel Aviv presenta due linee di pretrattamento meccanico e una sezione biologica della capacità di 70.000 t/anno.

La fase di pretrattamento meccanico risulta essere molto elaborata e si basa sull'impiego di enormi quantità di acqua. I rifiuti conferiti vengono scaricati dai camion direttamente su uno scivolo che termina in un serbatoio di acqua all'interno del quale è presente una ruota a pale che rimescola i rifiuti all'interno del bagno. In questa vasca si ha la prima separazione del rifiuto in due flussi: pesante e leggero. Dal primo flusso si cerca di estrarre le componenti leggere mentre la frazione più pesante è costituita da residuo e metalli.

E frazioni leggere vengono convogliate ad un frantumatore e successivamente a diversi sistemi di selezione e separazione che consentono di estrarre plastica, sabbia e il residuo costituito da particelle di dimensione maggiore di 15 mm.

La sospensione costituita da particelle di dimensioni inferiori a 15 mm, viene inviata al digestore anaerobico. Tutta la fase di pretrattamento dura 30 minuti.

La Digestione Anaerobica si suddivide in due stadi. Nel primo avviene l'idrolisi e l'acidogenesi. I rifiuti degradabili vengono convertiti in glucosio ed aminoacidi e successivamente in acidi grassi, idrogeno e acido acetico. In questo stadio, l'afflusso di nuovo materiale fresco e il deflusso di materiale idrolizzato avviene continuamente ogni 4 ore circa.

La sospensione in uscita da questo primo stadio viene scalda a circa 35-40°C per facilitare la digestione mesofila e viene pompata continuamente nel secondo reattore. Il riscaldamento avviene sfruttando i gas esausti caldi in uscita dai motori che bruciano il biogas. Nel secondo stadio, le reazioni di metanogenesi avvengono all'interno di un Digestore "*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*" (UASB). In questo tipo di impianto il materiale viene introdotto dall'alto e la reazione comincia quando il materiale entra in contatto con lo strato superficiale di fango. L'HRT, cioè il tempo di permanenza nel reattore della fase liquida è di 1-3 giorni mentre l'SRT, cioè il tempo di permanenza nel reattore della fase solida è di 80-90 giorni.

L'impiego di due digestori separati consente di ottimizzare al meglio ciascuna fase, caratterizzata da parametri, come il pH, differenti. Per contro, due digestori necessitano ciascuno di apparecchiature dedicate che incrementano il costo di investimento.

In Figura 30 è riportato il bilancio di massa del processo Arrowbio. L'impianto consente il recupero di metalli e plastiche leggere. Produce biogas che viene impiegato per la produzione di energia, in parte riutilizzata internamente e in parte ceduta in rete. Il biogas prodotto (125-175 m^3/t) ha un potere calorifico di 27-29 MJ/m^3.

Il processo inoltre produce un digestato che nell'impianto di Tel Aviv viene impiegato tal quale per uso agronomico. I risultati mostrano che in Europa, il digestato non può essere utilizzato come fertilizzante. Il processo utilizzato a Tel Aviv attualmente non rispetta i criteri dell'ABPR ("Animal by-Products Regulation" UK). Al fine di rispettare i criteri dell'ABPR, ArrowBio propone un post-trattamento del digestato deumidificato mediante pastorizzazione e igienizzazione mantenendo il materiale a 60°C per 4 ore.

L'alternativa consiste nell'impiegare il digestato come carburante per alimentare una centrale di co-generazione di energia elettrica o da utilizzare nelle cementerie. Test condotti hanno mostrato che il digestato ha un potere calorifico molto variabile, compreso tra i 4 e i 17 MJ/kg.
Pertanto, considerando che il digestato prodotto venga conferito in discarica insieme al residuo, la percentuale di materiale deviato dalla discarica è del 76%. Il processo produce anche un'enorme quantità di acqua di scarico, una parte viene riutilizzata e un'altra parte viene inviata all'impianto di depurazione. Il processo è comunque autosufficiente dal punto di vista idrico (170 l/t).
L'impianto è anche un produttore di energia infatti il fabbisogno di energia è stimabile in 200-400 kWh per tonnellata di materiale lavorato, mentre la produzione di energia elettrica è di 370 kWh/t e di energia termica di 630 kWh/t.
Il processo Arrowbio consente di trattare rifiuti indifferenziati ma la sua peculiarità basata su trattamenti ad umido consente di trattare grandi quantità di scarti liquidi come fanghi, liquami, deiezioni animali, scarti della lavorazione della carne ecc.

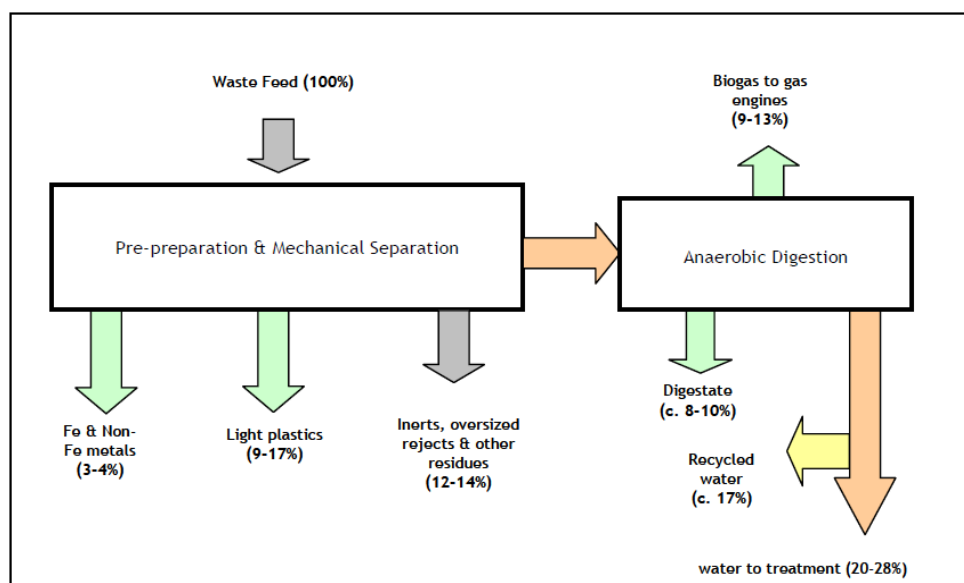



Figura 30. Bilancio di massa del processo Arrowbio.

Figura 31. Fotografie impianto di Tel Aviv.

Processo Bedminster

Nel processo Bedminster (Figura 32) il cuore biologico è costituito da un lungo reattore cilindrico rotante, utilizzato per il co-compostaggio degli RSU e dei fanghi da depurazione. L'output principale è costituito da compost. La compagnia ha anche realizzato una diversa configurazione del suo processo in grado di produrre combustibile solido, chiamato "*bio-fuel*". In questo caso si effettua il solo trattamento degli RSU e non quello dei faghi di depurazione. Inoltre le ceneri prodotte dalla combustione di questo materiale vengono utilizzate per la produzione di cemento ("*eco-cement*").
La capacità degli impianti Bedminster va da poche migliaia di tonnellate/anno fino a 200.000 t/anno (Edmonton – Canada).
La produzione del compost avviene in due fasi

1) digestione aerobica del rifiuto per tre giorni in reattori cilindrici rotanti;
2) maturazione del digestato per 3-6 settimane in ambiente chiuso ed areato.

Il compostaggio (o digestione aerobica) avviene in reattori rotativi all'interno dei quali si mantengono temperature di 65-71 °C. il processo di digestione dei rifiuti è favorito dall'aggiunta dei fanghi di depurazione che apportano microrganismi e azoto che accelerano le reazioni di degradazione della frazione organica, incrementando l'efficienza del processo e riducendo i tempi di maturazione.
Il processo prevede una fase di pretrattamento meccanico mediante la quale vengono separate tutte le frazioni riciclabili. Questo avviene anche a valle del digestore, prima che il compost venga avviato alla distribuzione.
I reattori sono suddivisi per compartimenti e sono costituiti da tamburi orizzontali ruotanti che operano in continuo. I tamburi ruotano a circa 1 rpm e sono leggermente inclinati per fare in modo che il materiale si sposti nel compartimento successivo. La movimentazione del materiale è anche facilitata dalla presenza di agitatori interni. I reattori presenti nell'impianto di Edmonton (Canada) sono costituiti da 5 compartimenti aventi diametro di 5 metri e una lunghezza complessiva di 74 metri.
L'aria viene immessa in coda al digestore e scorre controcorrente al flusso di materiale, in questo modo il "materiale pulito" si trova in prossimità dell'aria nuova riducendo quindi la possibilità di contaminazione del materiale. L'aria che scorre all'interno del reattore si scalda per via delle reazioni biochimiche. Quando l'aria, calda e carica di umidità, arriva all'ultimo compartimento, cioè in quello dove viene immesso il materiale vergine, cede il calore e l'umidità accumulata durante il tragitto lungo il reattore, al materiale. Questo aiuta l'innesco delle reazioni di digestione.
L'aria estratta dal digestore viene inviata a un biofiltro prima di essere immessa in atmosfera mentre il percolato viene in parte riutilizzato e in parte inviato al processo di trattamento delle acque. Dopo 3 giorni di permanenza nel digestore, il materiale viene stoccato in un capannone per la maturazione. Successivamente si controlla l'assenza di metalli, inerti vetro ed altre frazioni estranee e il compost è pronto per poter essere impiegato in agricoltura.
In Tabella 6. Bilancio di massa impianto da 75.000 t/anno RSU e fanghi. è riportato il bilancio di massa per un impianto da 75.000 t/anno di RSU e fanghi. Si osserva che la quantità di materiali riciclabili recuperata è molto bassa (< 0,5%). La perdita di peso calcolata corrisponde all'umidità e all'anidride carbonica persa durante il processo di compostaggio.
Per quanto riguarda il bilancio di massa, è stato calcolato che un impianto con tecnologia Bedminster, che lavora 150.000 – 200.000 t/anno di materiale, mentre il consumo di energia è di 18.000 – 24.000 MWh/anno, cioè 0,12 MWh/tonnellata.

In Tabella 7. Qualità del compost prodotto nell'impianto di Edmonton (Fonte: Sustainable Environmental Solutions Ltd). sono riportate le analisi condotte sul compost prodotto nell'impianto di Edmonton. L'impiego del compost per applicazioni alimentari deve essere valutato in relazione alla normativa vigente. Se si ipotizza di impiegare il compost in agricoltura, la diversificazione dalla discarica arriva fino all'84,4% contro un 38,8% nel caso in cui sia il compost che il residuo vengano conferiti in discarica.
In Figura 33 è possibile vedere una fotografia dell'impianto di Edmonton (250.000 t/anno) e si vede come il processo di maturazione occupi quasi l'80% dell'area occupata dall'impianto. L'impianto prevede anche sistemi di recupero delle acque e delle arie esauste provenienti dalle varie fasi del trattamento.

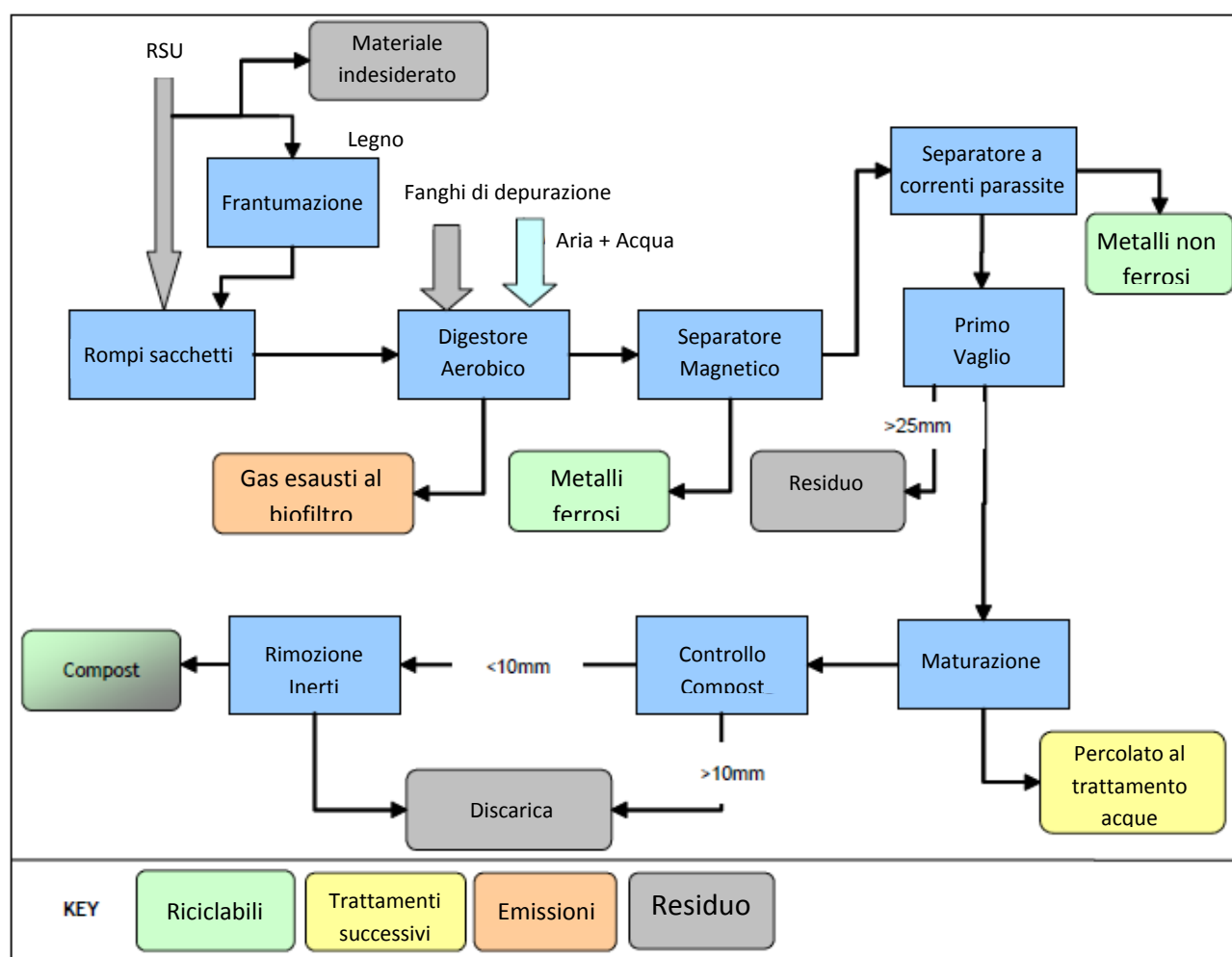



Figura 32. Schema del processo Bedminster.

Materiale	t/anno	%
INPUT		
RSU	56.250	75
Fanghi di depurazione	18.750	25
TOTALE INPUT (d)	75.000	100
OUTPUT		
Compost (a)	34.500	29,0

Materiali riciclabili (b)	375	0,5
Residui (c)	11.025	14,7
Perdita di massa (= a + b + c - d)	29.100	38,8
TOTALE	75.000	100

Tabella 6. Bilancio di massa impianto da 75.000 t/anno RSU e fanghi.

Contaminanti	mg/kg di compost
Cadmio	0,37
Cromo	11,5
Rame	90,0
Mercurio	0,31
Nickel	7,0
Piombo	11,0
Zinco	157,0
Impurità >2 mm	<0,5 %

Tabella 7. Qualità del compost prodotto nell'impianto di Edmonton (Fonte: Sustainable Environmental Solutions Ltd).

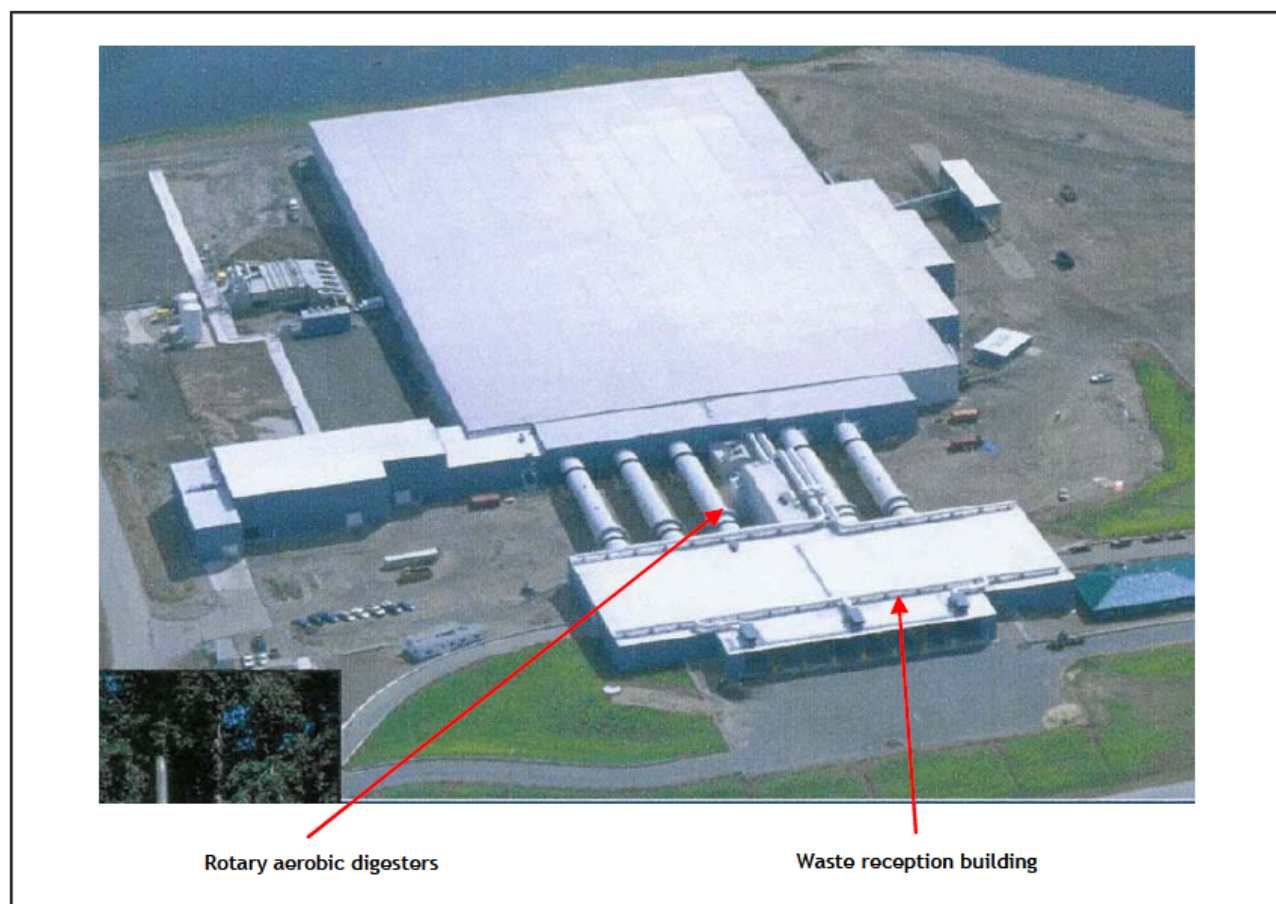



Figura 33. Impianto di Edmonton.

Processo Biodegma

Biodegma è un'azienda attiva nel settore del trattamento biologico dei rifiuti dagli anni '90. Il loro sistema di compostaggio utilizza una membrana semi-permeabile installata sui tetti dei tunnel di compostaggio (Figura 36). Talvolta questa membrana viene anche utilizzata per ricoprire direttamente i cumuli di compost.
Il processo Biodegma è in grado di trattare diverse tipologie di rifiuto, dalla frazione residua agli RSU tal quali, dalla frazione organica a quella verde.
Il prodotto in uscita dagli impianti Biodegma è costituito da biostabilizzato che difficilmente trova impiego in campo agricolo e pertanto viene conferito in discarica; oppure da RDF che può essere bruciato in appositi inceneritori.
In questa ultima configurazione, la frazione residua degli RSU viene frantumata in particelle di dimensioni inferiore ai 250 mm, quindi selezionata mediante vagli rotanti (sistema trommel) per estrarre le particelle di dimensione superiore a 80 mm. Questo flusso subisce processi di deferrizzazione per la rimozione dei metalli, infine viene triturato per la riduzione della pezzatura per poter essere venduto come CDR. Le particelle di dimensioni inferiori a 80 mm vengono mescolate con acqua e convogliate in un reattore per il compostaggio.
I gas esausti estratti dal tunnel di compostaggio vengono trattati in un sistema di trattamento termico prima di essere immessi in atmosfera.
In Figura 34 è riportato lo schema di processo dell'impianto configurato per la produzione di RDF.
In Figura 35 è riportato il bilancio di massa del processo Biodegma. La percentuale di diversione dalla discarica raggiunge la percentuale dell'85%, conferendo in discarica solo lo scarto ottenuto durante la fase di pretrattamento meccanico e gli inerti.
La qualità del CDR prodotto dipende pesantemente dalla complessità delle fasi di pre-trattamento e post-trattamento meccanico del materiale. Nel migliore dei casi, Il potere calorifico del CDR è 12,5-15 MJ/kg con una densità di 300 kg/m^3 e umidità di 25-30%.
I reattori di compostaggio sono realizzati in acciaio con un tetto costituito da una membrana semipermeabile in grado di impedire l'ingresso dell'acqua ma, al tempo stesso, permette la fuoriuscita di finissime particelle di vapor acqueo. La membrana consente, inoltre, di diminuire la fuoriuscita di odori e *bio-aerosols*. Uno studio eseguito sulle membrane utilizzate nel trattamento dei rifiuti organici ha confermato la loro efficacia (*Biowaste Composting - "New developments and solutions for the reduction of odour emissions"*, HLUG). È stato dimostrato che le membrane utilizzate da Biodegma consentono di ridurre le emissioni di *bio-aerosol* rispetto un sistema *windrow* e le loro prestazioni sono paragonabili a quelle di un sistema a biofiltro.
L'impianto produce una certa quantità di percolato e le acque di scarico che devono essere trattate prima essere rimesse in rete. Allo studio vi sono sistemi che consentano il riciclo totale di queste acque internamente all'impianto (3,3 l/t).
Il costo di trattamento è di 32-37 euro/tonnellata esclusi i costi di gestione del CDR, del percolato e degli altri output dell'impianto. I costi di gestione dell'impianto di Neumünster è di 76 euro/tonnellata, il quale però prevede una fase di trattamento meccanico potenziata e la possibilità di conferire anche rifiuti tal quali.

Figura 34. Schema di processo dell'impianto configurato per la produzione di RDF

Residuo RSU (85%)
Rifiuti Ingombranti (15%)
Scarto (5%)
Gas esausti e vapore (23%)
Pretrattamento
Acqua
Frazione grossolana >80 mm
Processo di compostaggio
Riciclo percolato e acque di scarico
Separazione dei metalli
Metalli (5%)
Vagliatura e Raffinazione
Triturazione
Inerti (10%)
Plastica leggera e Film (5%)
Biostabilizzato (12%)
CDR (40%)

Figura 35. Bilancio di massa per un impianto da 100.000 t/anno per la produzione di combustibile da rifiuto.

Figura 36. Tunnel di compostaggio (Impianto di Pößneck)

Processo Ecodeco

Gli impianti Ecodeco sono relativamente semplici e sono caratterizzati da costruzioni simili tra loro. Il processo si basa essenzialmente sulla biodisidratazione del rifiuto, costituito unicamente dalla frazione residua degli RSU. Il materiale essiccato viene utilizzato come combustibile solido per la produzione di energia. Gli impianti Ecodeco sono dotati di biofiltri posizionati sulla sommità dell'edificio che ospita il processo di biodisidratazione, il che consente di ridurre l'estensione dell'impianto.
In Italia esistono diversi impianti Ecodeco, tra i quali ricordiamo quelli di Corteolona, di Montanaso e di Lacchiarella.
L'impianto di Montanaso è stato realizzato con una collaborazione pubblico-privato ed è progettato per trattare 60.000 t/anno di residuo indifferenziato. Fino al 2002 l'impianto era sprovvisto di uno step di raffinazione (dopo il trattamento di bio-disidratazione). L'impianto produce Combustibile Derivato da Rifiuti (CDR) che, in parte, viene utilizzato nei cementifici e nelle centrali elettriche, il rimanente viene conferito in discarica.
L'impianto di Corteolona produce 40.000 t/anno di CDR mediante 2 linee identiche in grado di lavorare complessivamente 80.000 t/anno di residuo RSU. Nel 2003 entra in funzione un inceneritore a letto fluido (*Bubbling Fluidised Bed*) che brucia il CDR prodotto dall'impianto. La produzione elettrica è di 9 MW partendo da 60.000 t/anno di CDR. Altre 20.000 t/anno vengono conferite all'inceneritore dall'impianto di TMB di Lacchiarella.
L'impianto di Lacchiarella è dotato di due linee separate, una per il residuo che viene biodisidratato e trattato per la produzione di CDR. La seconda per il compostaggio della frazione organica dei rifiuti. Le plastiche e il materiale di dimensione maggiore, recuperati dall'impianto di compostaggio, vengono mescolate con il residuo e costituisce il flusso che alimenta la linea di biodisidratazione.
Il processo di biodisidratazione avviene in capannone chiuso ventilato artificialmente dove i rifiuti sono ammassati fino a cinque metri di altezza. L'aria viene aspirata da fori posti sul pavimento e convogliata al biofiltro. Ogni bocca d'aspirazione è indipendente e il flusso d'aria viene regolato in modo da mantenere la temperatura ottimale (55-70°C). I rifiuti rimangono nel bioessiccatore per circa 14 giorni. La perdita in peso varia da 20 a 28%. Al termine di questa fase, il materiale viene sottoposto a vagliatura, la pezzatura di dimensione inferiore a 20 mm viene separata e posta in discarica. Il resto viene condotto ad un secondo classificatore che seleziona le particelle sotto i 120 mm le quali vengono successivamente convogliate ad un classificatore ad aria che rimuove la frazione pesante. La frazione leggere è costituita da plastica e carta. Dal flusso di materiale così ottenuto vengono rimossi i metalli, ciò che avanza viene triturato riducendo le dimensioni da 30-50 mm ottenendo CDR. La resa è del 50%. Nel caso in cui il CDR venga impiegato nell'inceneritore a letto fluido, la frazione con dimensioni superiori a 120 mm viene triturata al fine di ottenere una dimensione media delle particelle di 100-150 mm.
Qualora il materiale bioessiccato venisse posto direttamente in discarica, la fase di raffinazione viene bypassata. Tutta la fase di raffinazione è caratterizzata dal mantenimento di un'atmosfera negativa. L'aria così aspirata viene convogliata al biofiltro prima di essere immessa in atmosfera.
In Figura 37 e Figura 38. Bilancio di massa del processo Ecodeco. sono riportati rispettivamente lo schema di processo e il bilancio di massa per un impianto Ecodeco.
La diversione dalla discarica arriva fino all'80%. Scende a 30% se si ipotizza di conferire il CDR in discarica.

Il processo di biodisidratazione è un utilizzatore di energia, però quando viene integrato ad un inceneritore a tecnologia a letto fluido, l'intero impianto diventa un produttore di energia (9 MW di energia elettrica). L'energia consumata dal processo Ecodeco è di 50 kWh per tonnellata di materiale trattato, in questo modo il 90% circa dell'energia prodotta viene rivenduta.

Ecodeco riporta che il biofiltro è in grado di abbattere i seguenti inquinati:

- odori <300 unità/Nm^3
- NH_3 < 5 mg/Nm^3
- H_2S < 5 mg/Nm^3

Dove l'impianto è affiancato ad un inceneritore, al biofiltro è affiancato un sistema per la pulizia dei gas prodotti dalla combustione come prescritto dai limiti della direttiva EU-WID ("Waste Incineration Directive").
In Figura 39. Impianto di Montanaso. è riportata una fotografia dell'impianto di Montanaso costituito da un edificio che ospita il processo di biodisidratazione e dall'adiacente centrale elettrica che brucia il CDR prodotto.
Per un impianto con capacità di 60.000 t/anno servono 2.700 m^2 di area, quindi 0,045 m^2/t che è un valore relativamente basso se paragonato ai processi di digestione anaerobica ed aerobica. Questo è dovuto al fatto che il tempo di biodisidratazione è notevolmente inferiore al tempo di biostabilizzazione e di digestione.

Figura 37. Schema di processo dell’impianto Ecodeco.

Figura 38. Bilancio di massa del processo Ecodeco.

Figura 39. Impianto di Montanaso.

Processo Herhof

Herhof è attiva nel settore del compostaggio e nel trattamento dei rifiuti dal 1986 e ha realizzato il suo primo impianto MBT nel 1997. Il cuore del processo Herhof è la biodisidratazione aerobica del rifiuto e l'output principale è costituito da combustibile da rifiuto.
In Italia, Herhof ha realizzato l'impianto di Fusina (Venezia). L'impianto utilizza 12 linee di biodisidratazione in grado di lavorare 145.000 t/anno di residuo. Una parte del CDR prodotto viene impiegato nella centrale a combustibile fossile dell'ENEL e in cementifici e inceneritori. Il restante viene inviato in discarica.
Gli impianti Herhof prevedono anche la presenza di un RTO "*Regenerative Thermal Oxidizer*" in grado di trattare tutti i flussi d'aria provenienti dalle diverse linee dell'impianto e che entrano in contatto con i rifiuti umidi. Nell'RTO, gli inquinanti organici vengono bruciati a 850°C rimanendo nella camera di combustione per due secondi. I gas vengono quindi rilasciati in atmosfera attraverso un camino. L'RTO permette di recuperare il 98% dell'energia termica dei gas di scarico mediante un sistema a tre camere. Questo sistema è implementato in tutti gli impianti MBT Herhof e consente di controllare il livello di TOC ("*Total Organic Carbon*") e la quantità di odori prodotti dal processo biologico.
L'aria proveniente dai locali dove si effettuano le operazioni di selezione meccanica viene trattata da filtri classici. Le polveri trattenute dai filtri vengono inglobate nel CDR, sotto forma di pellets.
I rifiuti subiscono una triturazione preliminare che riduce la pezzatura sotto i 200 mm. Il materiale viene quindi caricato nel bioessiccatore.
Il materiale subisce un processo di bioessiccazione che dura 5-7 giorni in condizioni aerobiche all'interno di reattori detti "*bio-box*". Il materiale in uscita da questa fase ha ridotto il proprio volume del 30%. L'aria viene immensa dal pavimento ed è regolata automaticamente in base alla concentrazione di biossido di carbonio e in base alla temperatura rilevata. La temperatura nel *bio-box* raggiunge i 50°C nelle prime 12 ore e viene mantenuta a quel livello per tutto il periodo di permanenza del materiale nel *bio-box*. Gran parte dell'aria estratta viene rimessa in circolo dopo un raffreddamento in uno scambiatore di calore finché il valore di CO_2 non raggiunge un livello di soglia, oltre il quale il flusso d'aria viene convogliato all'RTO. In questo modo si riducono i volumi d'aria da trattare con l'RTO riducendo quindi i costi di questa fase.
Il materiale essiccato viene poi condotto alla linea di raffinazione dove vengono estratti i contaminanti pesanti. Un primo selezionatore densimetrico separa il materiale in due flussi: pesante e leggera. La frazione pesante viene passata attraverso un ulteriore selezionatore densimetrico per estrarre la componente combustibile. Le operazioni di separazione meccanica avvengono all'interno di un capannone chiuso mantenuto a pressione negativa. In Figura 40. Schema di processo dell'impianto Herhof. è riportato lo schema del processo Herhof.
In Figura 41. Bilancio di massa del processo Herhof., invece è riportato il bilancio di massa. La percentuale di diversione dalla discarica arriva fino all'85% ma potrebbe essere anche superiore se si avviassero a recupero gli inerti.
Le analisi condotte sul CDR prodotto dagli impianti Herhof hanno evidenziato la seguente composizione:

Materiale	% in peso di sostanza secca
Contaminanti (inerti, vetro, ceramica e metalli)	1
carta, cartone, tessuto, legno e organico	65
plastica	9
Altro combustibile	25

Tabella 8. Composizione CDR prodotto dall'impianto di Rennerod.

Potere calorifico: 15 – 18 MJ;
Contenuto di umidità: 15%.
L'occupazione di suolo è pari a circa 0,065 m^2 per tonnellata di materiale lavorato.

Figura 40. Schema di processo dell'impianto Herhof.

Figura 41. Bilancio di massa del processo Herhof.

Figura 42. Impianto di Fusina (Venezia). A destra l'MBT con il camino per l'RTO mentre a sinistra l'inceneritore.

Processo Hese

Il processo Hese è costituito da un pretrattamento meccanico seguito da un trattamento di digestione anaerobica in umido a due stadi. La digestione avviene in condizioni mesofile a 35°C.

Il materiale passa attraverso a un macinatore a sfere ("*ball mill*") per una riduzione preliminare della pezzatura (80 mm) e successivamente attraverso un selezionatore a tamburo che separa la frazione con dimensioni inferiori a 40 mm da quella con dimensioni tra i 40 e gli 80 mm. Il *ball mill* ha una velocità di rotazione di 3-4 m/s ed è dotato di 400 sfere metalliche da 8 kg l'una (Figura 46. Macinatore a sfere.). La prima frazione viene ulteriormente selezionata per estrarre i metalli. Le particelle di dimensione inferiore a 5 mm vengono inviate al digestore mentre quelle con dimensioni comprese tra i 5 e i 40 mm vengono recuperate come CDR e inerti. Anche la frazione di dimensione tra i 40 e gli 80 mm può essere recuperata come CDR.

Il materiale che passa alla linea di trattamento biologico viene omogeneizzato e miscelato con acqua. Si ottiene una miscela che viene pompata in una camera di sedimentazione dove vengono separati i materiali più pesanti come metalli, vetro e inerti. La miscela viene quindi idrolizzata all'interno di un reattore in condizioni aerobiche. Il flusso d'aria in ingresso è controllato in base alla temperatura e al pH della sospensione. Durante l'idrolisi, che avviene in circa due giorni, il material e viene riscaldato a 57°C e mantenuto a questa temperatura per circa cinque ore. La sospensione in uscita dal reattore di idrolisi, viene pompata all'interno di tre digestori anaerobici. La reazione di metanizzazione avviene in circa 19 giorni. Il digestato viene quindi separato dall'acqua mediante presse meccaniche. Il percolato ottenuto viene inviato al trattamento delle acque o riutilizzato nel processo, mente Il digestato viene fatto maturare per ottenere compost. il biogas prodotto viene raffinato e stoccato all'interno di serbatoi pronto per poter essere utilizzato in impianti di cogenerazione. Parte dell'energia elettrica prodotta con il biogas viene immessa in rete mentre l'energia termica viene utilizzata per mantenere costante la temperatura del digestore o per altre applicazioni. In Figura 43. Schema di processo dell'impianto Hese. è riportato lo schema di processo di un impianto Hese, mentre, in Figura 45 è riportato il bilancio di massa del processo relativo ad un impianto da 110.000 t/anno.

La percentuale di diversione dalla discarica arriva fino al 77% conferendo solo residuo e inerti in discarica.

Un impianto da 110.000 t/anno necessita di circa 1.5 MW di energia per il suo funzionamento mentre l'occupazione di suolo è di 0,1 m^2/t, con digestori da 40.000 t/anno che si erigono per 12 metri in altezza (Figura 44).

RSU
Macinatore a sfere
<80mm
Selezionatore a tamburo
<40mm
Screen
Classificatore ad aria
Flocculi come combustibile
Inerti
Separatore magnetico a nastro
<5mm
All'impianto di digestione anaerobica
Metalli ferrosi
40-80mm
Separatore magnetico a nastro
Metalli ferrosi
Separatore balistico
Separatore a correnti parassite
Metalli non ferrosi
Inerti

KEY: Riciclabili | Trattamenti successivi | Flussi verso l'esterno | Residuo

Figura 43. Schema di processo dell'impianto Hese.

Figura 44. Digestori Hese dell'impianto di Leicestershire e digestori Valorga dell'impianto di Hannover.

Acqua (2%)
Biogas (2,9%)
RSU (100%)
Pretrattamento meccanico
Frazione <5 mm (36,2%)
Trattamento biologico
Acqua
Metalli (7,5%)
Residuo (14,4%)
CDR (40-80 mm) (38,9%)
Compost (27,8%)
Inerti (8,6%)

Figura 45. Bilancio di massa del processo Hese.

Figura 46. Macinatore a sfere.

Processo Horstmann

La tecnologia Horstmann consente di accettare in ingresso differenti input, dal residuo ai rifiuti indifferenziati. Nella Tabella 9 sono riportati gli obiettivi di processo per alcuni impianti dotati di tecnologia Horstmann.

Obiettivi di Processo	Münster	Neuss	Valladolid	Madrid	Léon
Trattare RSU indifferenziati			x	x	x
Trattare Residuo	x	x			
Massimizzare riciclabili	x				
Recuperare metalli	x	x	x	x	x
Produrre CDR					x
Biostabilizzare il rifiuto	x	x	x	x	x
Produrre compost			x	x	x
Produrre carburante da organico		x			
cogenerazione		x			x

Tabella 9. Obiettivi di alcuni impianti dotati di processo Horstmann.

Il processo di pretrattamento meccanico dei rifiuti è finalizzato alla separazione spinta delle frazioni secche riciclabili. Negli impianti tedeschi vengono impiegati sistemi altamente automatizzati e tecnologici, mentre in Spagna si utilizza maggiormente la separazione manuale. Gli impianti di Madrid e Léon utilizzano un sistema trommel per la separazione del materiale producendo una frazione fine che viene trattata biologicamente e una frazione più grossolana che viene sottoposta a separazione manuale. L'obiettivo che si vuole raggiungere con i nuovi impianti in Germania è quello di una maggiore flessibilità del processo meccanico che consenta di incrementare la differenziazione, rispondendo tempestivamente alle fluttuazioni del mercato delle materie prime seconde. Il processo è in grado di recuperare plastiche leggere e carta, oltre che materiali metallici, a partire dal residuo degli RSU.
Il materiale in ingresso all'impianto viene prima ispezionato al fine di rimuovere il materiale più grossolano e gli oggetti indesiderati. Il materiale viene quindi triturato in particelle inferiori a 220 mm. Successivamente un sistema trommel separa il flusso in tre frazioni: <50 mm, 50-120 mm e 120-220 mmm.
La frazione più fine passa attraverso separatori magnetici e separatori a correnti parassite per la rimozione dei metalli, ciò che rimane viene avviato al trattamento biologico.
La frazione di pezzatura intermedia passa attraverso un classificatore ad aria che separa il materiale in due flussi: pesante e sottile. La frazione più pesante passa attraverso separatori magnetici e a correnti parassite, per la rimozione dei metalli, infine passa attraverso lettori a infrarosso che rimuovo la plastica. La frazione più leggera invece viene inviata direttamente ai lettori a infrarosso. Ciò che avanza viene conferito in discarica. La frazione con particelle grossolane viene analizzata da altri lettori a infrarosso per rimuovere carta e plastica prima di essere inviata in discarica.
La frazione più fine proveniente dal trattamento meccanico subisce un processo di digestione aerobica per un periodo di circa 4-7 settimane in tunnel di compostaggio. Durante questo periodo il materiale viene rivoltato più volte e la temperatura raggiunge i 70°C. il biostabilizzato prodotto subisce un trattamento di raffinazione che consente la rimozione di inerti, vetro, film plastici e particelle grossolane.
In Figura 47 è riportato lo schema di processo dell'Impianto di Münster da 70.000 t/anno.

Il processo Horstmann consente di ottenere diverse tipologie di output, in Figura 48 è riportato il bilancio di massa dell'impianto di Valladolid. Il biostabilizzato prodotto negli impianti tedeschi viene conferito in discarica in quanto non rispetta gli standard AT4. La produzione di CDR necessita di ulteriori passaggi che permettono la rimozione di metalli, vetro, inerti e altri contaminanti.
L'impianto di Münster sottrae alla discarica il 69% dei residui in ingresso e nel corso degli anni ha subito alcuni mutamenti che hanno portato l'impianto a produrre, come output principale, CDR. Inoltre l'impianto si è dotato di un digestore anaerobico BTA. In Spagna i gas esausti provenienti dal processo biologico vengono trattati con il biofiltro. In Germania, invece, i gas vengono trattati termicamente al fine di rispettare i vincoli imposti sulle emissioni di TOC ("Total Organic Carbon") dal German 30th BLmSchV. Gli impianti riciclano internamente tutta l'acqua estratta dal processo biologico.

Figura 47. Schema di processo dell'impianto Horstmann (Impianto di Münster da 70.000 t/anno).

Figura 48. Bilancio di massa del processo Horstmann (Impianto di Valladolid).

Figura 49. Impianto di Münster.

Processo Linde

Linde impiega diverse tecnologie per quanto riguarda la sezione biologica dei suoi impianti TMB, come:

- Digestione anaerobica a secco (Impianto di Valladolid);
- Digestione anaerobica ad umido (Impianto di Barcellona – Ecoparc 1);
- Compostaggio in tunnel (Impianto di Linz);
- Compostaggio in pile all'aperto ("Windrow", in disuso).

L'azienda fornisce anche due diverse configurazioni dei propri processi, una prima versione con la selezione meccanica a monte del trattamento biologico ed una seconda versione con la selezione meccanica a valle del trattamento.

In Figura 50 è riportato lo schema di processo di un TMB da 300.000 t/anno con preselezione meccanica e digestore anaerobico ad umido (Ecoparc 1 - Barcellona). Il trattamento biologico consiste in due step (idrolisi e metanogenesi), in condizioni mesofile (35°C).

Dopo aver rimosso la parte più grossolana dal flusso di rifiuti in ingresso all'impianto, mediante sistema trommel e separatori magnetici/induttivi, la frazione più fine viene diluita in acqua ed immessa in un pulper in grado di separare la sospensione che viene a formarsi dal resto del materiale. Questa frazione ha un contenuto di frazione solida di circa il 10%.

Il materiale subisce un processo di idrolisi in un reattore dedicato prima di essere immesso nel digestore.

Una parte del biogas prodotto viene reimmesso nel digestore stesso per favorire la miscelazione del materiale. Il calore dei gas di scarico prodotti dai cogeneratori viene impiegato per mantenere la temperatura costante all'interno del digestore.

Il materiale estratto dai digestori viene essiccato e inviato a un digestore aerobico per la biostabilizzazione.

Una frazione dell'acqua ricavata dalle presse a valle del digestore anaerobico viene riutilizzata nel pulper.

L'impianto di Barcellona tratta 300.000 t/anno di materiale parzialmente differenziato ed è dotato di 4 digestori anaerobici da 150.000 t/anno complessive e di 38 tunnel di compostaggio per il trattamento del digestato e della FORSU.

L'impianto di Valladolid (Spagna) è in grado di lavorare 210.000 t/anno ed è dotato di un digestore anaerobico a secco da 15.000 t/anno. Il digestore lavora in condizione termofile (55-58°C) all'interno del quale, il materiale rimane 25 giorni. Il rifiuto subisce un trattamento preliminare, per circa 2 giorni, che consiste in una idrolizzazione, utilizzando l'acqua in uscita dal digestore anaerobico.

Dal digestato viene estratta l'acqua mediante presse e quindi inviato all'impianto di maturazione. Il digestore ha una forma rettangolare ed è posto orizzontalmente all'interno di un edificio completamente chiuso.

Il compostaggio in tunnel è una tecnica che viene utilizzata da Linde anche in abbinamento alla digestione anaerobica ad umido ed ha l'obiettivo di biostabilizzare il digestato in uscita dal reattore anaerobico. Invece, quando questa tecnica viene impiegata stand-alone, l'obiettivo è quello di ottenere biostabilizzato da conferire in discarica, partendo da RSU pretrattato meccanicamente.

Il materiale rimane nei tunnel per circa 4 settimane, più altre 2 settimane per la maturazione**.** Il processo consente anche la produzione di combustibile da rifiuto.

Gli impianti Linde consentono di trattare diverse tipologie di rifiuti:

- Rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata
- Deiezioni animali
- Residuo RSU

- Sottovaglio RSU
- RSU indifferenziati

Nella tabella successiva sono riportati i dati relativi ad alcuni impianti Linde

Impianto	**Capacità**	**N° digestori**	**Altezza digestori [m]**	**Volume digestori [m^3]**	**N° tunnel**
Barcellona	90.000	4 (umido)	27	6.700	38
Madrid	73.000	2 (umido)	24	7.000	12
Borken	63.000	0	-	-	26
Linz	40.000	0	-	-	16
Valladolid	15.000	1 (secco)	8	1.500	0

Tabella 10. Capacità e dimensioni della sezione biologica di alcuni TMB Linde.

Figura 50. Schema di processo dell’impianto Linde (Impianto di Barcellona da 300.000 t/anno).

Figura 51. Digestore e flare-gas dell’Ecoparc 1 di Barcellona.

Processo Promeco

L'impianto proposto da Promeco (Figura 53) ha lo scopo di trattare, smaltire e recuperare il rifiuto urbano tal quale proveniente da raccolta differenziata per una quantità complessiva di 280 t/g, pari a circa 84.000 t/anno, corrispondente ad un bacino di circa 210.000 abitanti. Il processo comprende le seguenti fasi:

1) Selezione meccanica secco-umido
2) Produzione bricchette e chips di CDR con sistema Extruder
3) Selezione ad umido con Hydropulper;
4) Digestione anaerobica con recupero di biogas;
5) Produzione di compost misto;
6) Produzione di sostituto di torba;
7) Produzione di terriccio;
8) Gassificazione di CDR.

Il rifiuto urbano conferito all'impianto subisce una prima fase di triturazione al fine di aprire i sacchi e ridurre la pezzatura della sostanza da inviare alle fasi successive. Dal materiale vengono estratti i metalli e viene quindi conferito ad un'unità di vagliatura costituita da un tamburo rotante con maglie di 80 mm. Al termine di questo stadio la portata del materiale grezzo è suddivisa in due flussi: il sopravaglio e il sottovaglio.

Il sopravaglio, prevalentemente costituito da composti inorganici quali plastiche, tessili carta e cartone e poliaccoppiati, viene inviato con nastro trasportatore, direttamente alla linea di produzione di CDR. Questo materiale è caratterizzato da un potere calorifico pari a 3.300-3.600 kcal/kg, un contenuto di umidità del 20-30% ed un peso specifico di 150-300 kg/m3. Il sopravaglio prima di essere conferito all'unità *Extruder*, subisce una separazione magnetica e una triturazione fine. L'unità *Extruder* è costituita da un estrusore alimentato da una tramoggia. Il materiale viene omogeneizzato e disgregato dal forte attrito generato dalle coclee controrotanti, quindi spinto in pressione attraverso una matrice di estrusione che ne determina la sagomatura. L'estruso viene quindi tagliato nelle dimensioni desiderate ottenendo le bricchette di CDR.

Il sottovaglio, di composizione molto eterogenea, viene inviato alla selezione ad umido mediante trattamento con *hydropulper*. Questo materiale è caratterizzato da un basso potere calorifico dovuto ad un elevato contenuto di umidità (40-60%), un peso specifico di 500-600 kg/m^3 e risulta composto da: materiale organico, materiale cellulosico, vetro e inerti, metalli e rifiuti pericolosi. Da questo flusso vengono estratti i metalli prima di essere inviato *all'hydropulper*, dove avviene la selezione ad umido delle differenti matrici presenti nel rifiuto e la loro separazione in flussi distinti. Nel primo stadio il materiale viene diluito con acqua e riceve una forte agitazione meccanica. Qui avviene la separazione per sedimentazione della frazione pesante del rifiuto e sia la dissoluzione per miscelazione meccanica delle frazioni organiche nel liquido. I materiali più pesanti (vetro, metalli, inerti) vengono raccolti dal fondo e inviati in discarica, mentre il materiale rimasto in sospensione viene scaricato nel *multisorter* (secondo stadio) nel quale avviene un'ulteriore separazione dei componenti presenti nel rifiuto: la frazione leggera (plastiche, tessili e legno) viene separata per flottazione mentre i materiali estranei fini vengono raccolti sul fondo del *multisorter*. Al termine di queste fasi si ottiene un flusso principale costituito essenzialmente da materiale organico in sospensione e tre flussi di scarto distinti caratterizzati da una composizione sufficientemente omogenea che ne semplifica l'attività di smaltimento:

1) Frazione pesante e frazione leggera vengono conferite in discarica per inerti, avendo un contenuto di organico inferiore al limite del 10% previsto per la classe dei rifiuti "speciali";

2) La frazione leggera, dopo essere stata pressata per liberare il liquido in essa intrappolato, viene inviata alla linea di produzione del CDR, avendo una composizione prevalentemente plastica e quindi con alto potere calorifico;
3) La sospensione organica viene conferita nel digestore anaerobico BIMA per la produzione di biogas.

Il biogas prodotto dalla digestione anaerobica ha un contenuto di metano pari a 50-60% e dopo uno stadio di desolforazione, può essere utilizzato come combustibile in caldaia per la produzione di calore, oppure conferito a motori endotermici per la produzione di energia elettrica e termica. In Figura 52 sono riportati alcuni dati indicativi della produzione di biogas e di energia.

Il fango in uscita dal digestore viene inviato ad un'unità di disidratazione con macchine centrifughe. Lo scopo di questo trattamento è quello di separare parte dell'acqua presente nel flusso al fine di ottenere due risultati:

a) Recupero dell'acqua;
b) Ottenimento di un fango con contenuto di sostanza secca di circa il 20%, consentendo una notevole riduzione dei volumi di materiale da gestire.

Il materiale organico disidratato viene miscelato con rifiuti verdi triturati e subisce un pretrattamento mediante macchina *Extruder* che consente di ottimizzare il successivo processo di compostaggio in biocelle.
Il prodotto in uscita da questa fase è costituito da compost misto che può essere ulteriormente raffinato e miscelato con il sostituto di torba (e/o altri substrati idonei) per la produzione di terriccio.
La soluzione Promeco prevede anche un impianto di gassificazione del CDR da 500-700 kg/ora. Il gas prodotto, prima della depurazione ha la seguente composizione:

CO	30 – 32%
CO_2	7 – 8 %
H_2	16 – 18 %
N_2	43 – 45 %
H_2S	0,08 – 0,1 %
HCl	0,05 – 0,07 %
CH_4	0,5 – 0,8 %
Altri idrocarburi	0,5 – 0,7 %

Il gas può essere impiegato in forni o essiccatoi, sale termiche, turbine a gas e motori a combustione interna, raggiungendo rendimenti fino al 38%. Si stima che con 1.000 kg/ora di RSU è possibile produrre, con idonei impianti di cogenerazione (da 500-850 kWh), fino a 1.200 kWh/t.
Il rifiuto urbano conferito all'impianto, viene trattato uniformemente per 12 ore al giorno (2 turni) per 6 giorni alla settimana. Il dimensionamento del processo è stato fatto assumendo, come riferimento, la seguente composizione merceologica in peso del rifiuto urbano:

- Organico 26%
- Cellulosico 36%
- Plastiche/Gomme 18%
- Sottovaglio 10x20 9%
- Inerti 7%
- Metalli 3%
- RUP 1%

Il dimensionamento del processo ad umido è stato fatto assumendo, come riferimento, la seguente composizione merceologica in peso del sottovaglio:

- Organico 29,89%
- Carta/cartone 9,89%
- Sottovaglio 28,08%
- Vetro 9,70%
- Metalli 4,69%
- Inerti 3,44%

- Plastica 5,11%
- Tessili 0,63%
- Legno 3,60%
- Poliaccoppiati 5,01

STIMA INDICATIVA DELLA PRODUZIONE DI BIOGAS			
Tempo di permanenza		15	giorni
Volume digestore		5.000	mc
Numero digestori		1	
Frazione secca in ingresso	ca.	25,6	t_{SS}/g
Frazione organica secca in ingresso*	ca.	17,9	$t_{SS\ ORG}/g$
Quantitativo complessivo prodotto	ca.	2.150.000	Nmc/a
Potere calorifico medio	ca.	6,3	kWh/mc
Energia lorda prodotta	ca.	13.545.000	kWh/a
Energia elettrica prodotta	ca.	4.470.000	kWh_E/a
Energia termica prodotta	ca.	6.700.000	kWh_T/a

Figura 52. Stima indicativa della produzione di biogas. [4]

Figura 53. Diagramma di processo Promeco. [4]

Processo Valorga

Valorga Internation SAS è un'azienda Francese che realizza impianti di trattamento meccanico biologico per il trattamento di RSU. Il cuore del processo Valorga è un digestore anaerobico a secco singolo stadio. Nel 2002 Tecmed e Hese Umwelt entrano a far parte del consiglio di amministrazione dell'azienda con il 40% azioni ciascuno. Inoltre, Ros Roca ha ottenuto la licenza per la commercializzazione degli impianti Valorga in Spagna e Portogallo.

Il processo Valorga prevede un pretrattamento meccanico del rifiuto. La frazione biodegradabile viene condotta verso l'impianto di digestione anaerobica dove vi rimane per 25 giorni. Il biogas prodotto è pari a 110 – 150 Nm^3 per ogni tonnellata di materiale lavorato mentre l'aria proveniente dalle varie fasi del processo viene trattata mediante un biofiltro.

Il materiale in uscita dal digestore anaerobico passa in un digestore aerobico per essere completamente biostabilizzato. Il prodotto finale è un compost di elevata qualità.

In Figura 54 è riportato lo schema di processo dell'impianto di Barcellona (Ecoparc 2) da 265.000 t/anno di residuo. In Figura 55. Bilancio di massa del processo Valorga. è invece riportato il bilancio di massa del processo. La diversione dalla discarica arriva al 96% considerando che solo gli inerti vi vengano conferiti.

L'impianto di Barcellona (Figura 56), dotato di tecnologia Valorga, è un produttore di energia infatti nel 2004 ha prodotto 26.500 MWh di energia di cui 11.000 MWh sono state utilizzate per il fabbisogno dell'impianto.

Figura 54. Schema di processo dell'impianto Valorga (Impianto di Barcellona – Ecoparc 2 da 265.000 t/anno).

Figura 55. Bilancio di massa del processo Valorga.

Figura 56. impianto di Barcellona Ecoparc 2.

Par. 3 - Scenari evolutivi del mercato

3.1 Evoluzione delle tecnologie MTB in Europa

Oltre 7 milioni di t di rifiuti solidi residui indifferenziati sono trattate annualmente in Germania in impianti che possono essere classificati in

- Impianti di trattamento meccanico biologico (MBT)
- Impianti di trattamento meccanico biologico con essiccazione biologica (MBS)
- Impianti di essiccazione meccanico fisica (MPS)
- Impianti di trattamento meccanico (MA)

I sistemi di trattamento a freddo sono diventati nel Centro Europa uno dei pilastri del sistema di gestione dei rifiuti urbani.
Recentemente il commissariamento di numerosi impianti di questo genere, dotati di sezioni biologiche, causato da problemi tecnici, ha determinato commenti, e osservazioni da parte di media ed esperti del settore, a causa dei quali l'agenzia ambientale tedesca ha deciso di effettuare una valutazione complessiva, allo scopo di riverificarne gli obiettivi.
I risultati sono stati presentati in un rapporto da Wasteconsult International, società incaricata di effettuare questo lavoro di analisi, all'International Symposium MBT 2007.
Le origini della tecnologia derivano dagli obiettivi di qualità dei rifiuti da conferire in discarica, già dal 1993. In base a tali obiettivi si rendevano necessari pre trattamenti, per garantire uno smaltimento finale non pericoloso. La scadenza degli adeguamenti era fissata al 1.6.2005;, allo scopo di consentire alle società gestori dei servizi di adeguarsi partendo dalla progettazione, autorizzazione, costruzione e gestione efficiente delle tecnologie che si rendevano necessarie.
Le specifiche richieste dalle normative erano conseguibili completamente mediante incenerimento; tuttavia sia da parte politica che tecnica tale indirizzo indiretto esclusivo alla tecnologia della combustione è stata oggetto di forti critiche.
Risultato: si é avviato lo studio di tecnologie alternative a freddo, che fossero in grado di conseguire gli obiettivi richiesti a livello nazionale e regionale.
La prima generazione di impianti MTB è stata implementata con tecnologie di basso livello, con sistemi di aerazione semplificati naturali. In Bassa Sassonia si sono avviati impianti di maggiore sofisticazione impiantistica, messi in attività dal 1997. Si convenne dopo la fase di sperimentazioni che anche a valle dei MTB si produceva una quota di rifiuto da destinare a smaltimento, compatibile con le discariche ma non con in toto ai parametri previsti.
Pertanto si aggiornò la normativa nel 2001, con elementi innovativi che tenessero conto dei risultati conseguiti dai sistemi MTB.
Per adeguare l'output dei primi impianti alle norme stringenti fu necessario ristrutturare molti impianti o addirittura ricostruirli ex novo, nell'arco di 4 anni, per rispettare tali norme nazionali, pur partendo da dati incompleti circa la fattibilità dell'adeguamento della prima generazione di impianti.

Il risultato fu la realizzazione di impianti in ritardo, dietro consulenza di società costruttrici e studi di progettazione, con avvii e fermate successivi, in contemporanea e in tempi molto ristretti. Le società di costruzioni non erano preparate ad una siffatta mole di lavoro, e i lavori comportarono notevoli allungamenti dei tempi di realizzazione. Scarsità di garanzie, di procedure sperimentate, crearono enormi difficoltà alle società coinvolte, alcune delle più importanti finendo per trovarsi in condizioni finanziarie di criticità.

Queste condizioni hanno determinato una crisi del settore, con ritardi, sospensioni dei lavori, mancato completamento di impianti.

Nel corso del 2007 l'ufficio federale per l'ambiente ha commissionato la ricerca sul settore, mediante questionario, alo scopo di valutare specifiche, risultati, efficienza degli impianti esistenti, nonché di indagare le problematiche gestionali.

Lo studio ha censito 78 impianti, riassunti nella tabella successiva.

Federal state, (number)	Type	Amount	Plant
Baden-Württemberg (6)	MA	3	Heilbronn, Mannheim, Ostalbkreis (Ellert)
	MBA	3	Buchen, Heilbronn, Kahlenberg (Hauptziel Brennstofferzeugung)
Bavaria (1)	MBA	1	Erbenschwang
Berlin (3)	MA	1	Köpenick
	MPS	2	Pankow, Reinickendorf
Brandenburg (12)	MA	6	Premnitz, Recyclingcenter Jänschwalde, Recycling-park Brandenburg, Schöneiche, Schwedt, Wilmersdorf
	MBA	5	Freienhufen (Schwarze Elster), Niederlausitz (Lübben-Ratsvorwerk), Schöneiche, Schwanebeck, Vorketzin
	MBS	1	Nuthe Spree
Bremen (1)	MA	1	Bremen
Hesse (3)	MA	1	Diemelsee-Flechtdorf
	MBS	2	Aßlar, Wetterau
Mecklenburg Western Pomerania (4)	MA	1	Ihlenberg
	MBA	2	Rosenow, Rostock
	MBS	1	Stralsund
Lower Saxony (12)	MA	2	Mansie, Oldenburg-Neuenwege
	MBA	9	Bassum, Großefehn, Hannover, Lüneburg, Osterholz, Sachsenhagen, Südniedersachsen, Wiefels, Wilsum
	MBS	1	Osnabrück
Northrhine-Westphalia (15)	MA	11	Bochum, Ennigerloh, Erwitte, Haus Forst, Köln-Heumar, Köln-Niehl, Krefeld, Meschede-Enste, Olpe, Paderborn, Viersen
	BA	1	Ennigerloh
	MBA	3	Gescher, Pohlsche-Heide, Münster
	MBS	2	Erftstadt, Neuss
Rhineland Palatinate(5)	MBA	3	Kaiserslautern, Linkenbach, Singhofen
	MBS	2	Mertesdorf, Westerwald (Rennerod)
Saxony (6)	MA	2	Delitzsch, Zwickau
	MBA	1	Cröbern
	MBS	2	Dresden, Vogtland (im Bau)
	MPS	1	Chemnitz
Saxony-Anhalt (2)	MA	1	Edersleben
	MBA	1	Gardelegen
Schleswig-Holstein (2)	MBA	1	Lübeck
	MBS	1	Neumünster
Thuringia (4)	BA	1	Nentzelsrode
	MA	1	Nentzelsrode
	MBA	2	Erfurt-Ost (Fertigstellung April 2007), Wiewärthe

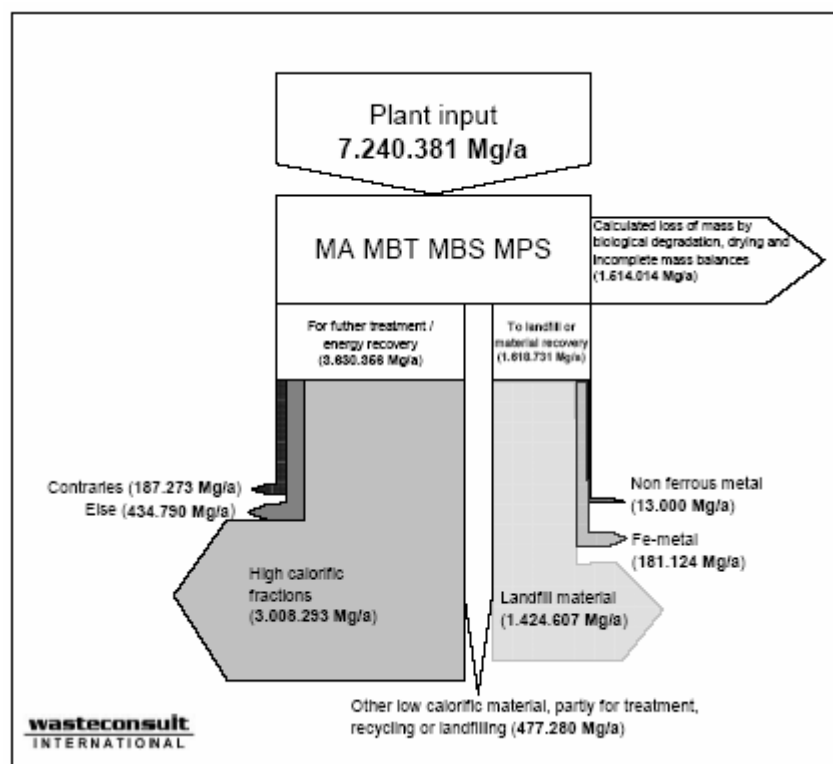
Nella figura seguente é riassunto il diagramma di flusso di materia per il settore MTB, come risultante dall’indagine.
Si deve evidenziare come il 49% del rifiuto in uscita debba ancora essere soggetto a trattamenti successive allo scopo di utilizzo energetico.

Si evidenzia altresì che il 3% del flusso in ingresso è riciclato come materiale, essenzialmente i ferrosi e non ferrosi, mentre un 22% circa esce come perdita di massa per evaporazione causata dalla essiccazione, biodegradazione, ma anche dovuto in parte alle lacune nei dati ottenuti.
Di seguito gli output per tipologia di tecnologia.

Figura 57: Rapporto MTB 2007 - Output per tecnologia

Numerosi impianti hanno dovuto essere modificati per rispettare le normative sul deposito in discarica; é stata potenziata la fase di riduzione volumetrica in numerosi impianti e così quella di vagliatura.
E' stata rivista la durata della fase di post maturazione delle linee biologiche, nella ventilazione e irrigazione dei cumuli. Gli impianti anaerobici sono stati adeguati nelle sezioni di trattamento delle acque di processo.
Sono stati citati dagli operatori i seguenti tipi di problematiche:

- congestione linee per presenza di elementi ingombranti, nastri;
- elevato logoramento delle parti, variazioni del grado di riduzione volumetrica per effetto degli attriti e urti;
- depurazione aria nelle linee bilogiche;
- rilascio di ammoniaca, e zone anaerobiche nel compostaggio;
- elevato fabbisogno di manodopera e danni alle macchine nei processi ad umido;
- essicazione variabile, output di compost troppo umido.

Tra il 2005 ed il 2007 é aumentato il numero di impianti che rientra nelle norme tecniche per il conferimento in discarica, la quasi totalità, mentre alcuni impianti sono stati chiusi.
Sia gli impianti aerobici che quelli anaerobici sono in grado di rispettare i vincoli di Legge, ma maggiori difficoltà si riscontrano nei secondi. Si sono riscontrati alcuni problemi anche nei sistemi di trattamento dei

gas di scarico, dovuti a corrosione, consumi energetici, basse disponibilità. Per quanto attiene gli odori, il 17% degli impianti evidenzia problemi di emissioni.
In conclusione si può affermare che in Germania è stato svolto un lavoro pionieristico con l'introduzione su scala industriale di tecnologie a freddo, meccanico biologiche, per trattare i rifiuti urbani residui. Non tutti gli impianti costruiti negli anni scorsi hanno superato i test di conformità alle norme nazionali vigenti sul conferimento dell'output in discarica, il che ha comportato la chiusura di 2 o 3 impianti.
Ma va evidenziato che anche la tecnologia di trattamento termico è in evoluzione, ha richiesto enormi capitali, ha sperimentato fallimenti clamorosi (si pensi al progetto Pirolisi secondo la tecnologia Thermoselect) e nonostante questo è considerata una filiera efficiente e qualificata di approccio tecnologico.
Le problematiche della filiera MTB possono essere affrontate e risolte nella maggior parte dei casi, o ridotte.
La tecnologia MTB si è dimostrata una tecnologia appropriata al trattamento dei rifiuti urbani indifferenziati, nel rispetto dei vincoli normativi. Le problematiche attualmente in evidenza si focalizzano negli impianti anaerobici, in particolare nelle sezioni di percolazione e fermentazione a umido.
Nel dettaglio secondo alcuni operatori del settore[1], é richiesto un intervento a monte delle linee per estrarre I riciclabili prima che si contaminino con le altre frazioni umide; intervenire quindi con fasi di selezione meccanica prima delle fermentazioni e disidratazioni.
E' essenziale valutare la qualità del rifiuto in ingresso: una qualità elevata comporta un output di qualità elevata. Infine, sembra necessario passare da una generazione di impianti che hanno avuto lo scopo della stabilizzazione, ad una generazione di impianti che metta al primo posto il riciclaggio e la produzione di compost.

[1] "Defining the best process for a mechanical biological treatment plant"- Stephane Vauché, Chairman & CEO of the Vauché Europe Group (tratto da "Waste to resources 2009 III International Symposium MBT & MRF")

Figura 58: Modellizzazione di impianto per riciclaggio e produzione di compost

3.2 Sperimentazioni italiane sul rifiuto secco residuo

Ecodeco

Nel corso del 2009 è stata presentata una esperienza condotta da Ecodeco srl, di Giussago (PV), ora del Gruppo A2A, in merito al riciclo della frazione residua a valle di trattamenti di bioessiccazione.[2]
L’azienda è partita da dati di letteratura tecnica relativi ad impianti produttori di RDF, e dai risultati di una sperimentazione condotta presso un proprio impianto semplificato di selezione costituito da un vaglio vibrante, un classificatore ad aria, un sistema ottico NIR per la selezione delle plastiche.
Sulla base dei dati merceologici dei rifiuti prodotti dall’utenza domestica nell’area piemontese, con un tasso di raccolta differenziata del 45% circa e con una stima di riduzione di massa del 28% con la essiccazione, la sperimentazione attesta la possibilità tecnica di incrementare in modo significativo i tassi di recupero dei riciclabili contenuti nel residuo.

[2] S. Scotti. “Recyclable materials recovery after biological treatment of the residual fraction: quality improvement and contribution to landfill diversion targets” tratto da “Waste to resouces 2009 III International Symposium MBT & MRF”

Nelle due tabelle successive sono riassunti i risultati conseguibili con l'impianto pilota, e con gli impianti MTB realizzati in Gran Bretagna.
Come evidente dalle tabelle, dai MTB si riesce ad estrarre una quota dei metalli e degli inerti, dall'impianto pilota si riesce ad estrarre plastica, carta in aggiunta, con qualità accettabili da parte dei consorzi di filiera.
Di seguito si è stimato il risultato in termini di bilancio di massa, tra le due soluzioni: MTB e tecnologia pilota.

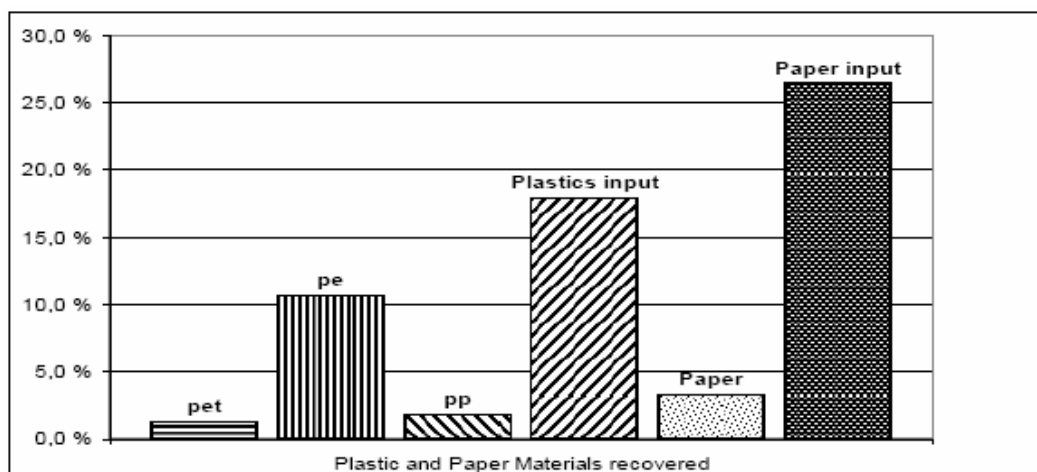



Figura 59: recupero da impianto pilota rispetto all'input

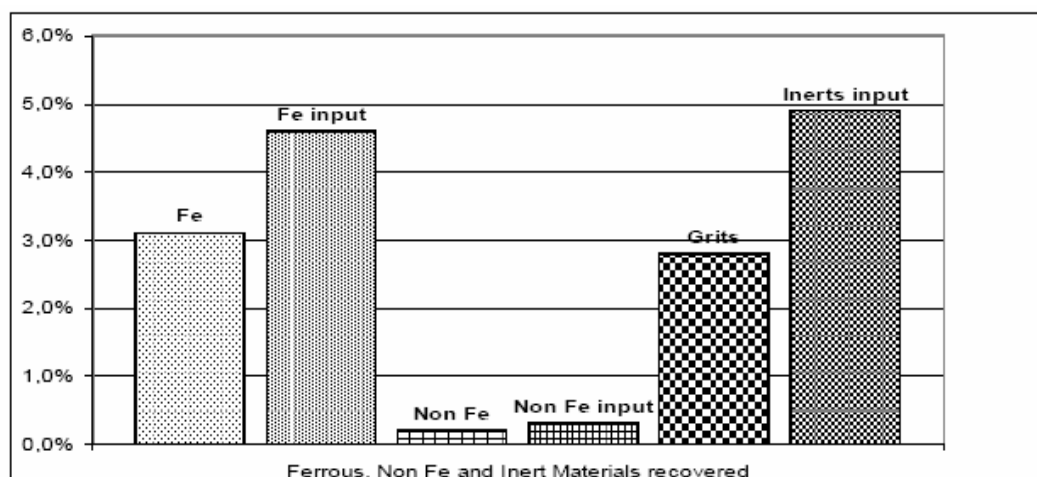



Figura 60: recupero ta impianti MTB rispetto all'input

Input data		Scenarios			
Recovery Rate		Only RDF production		RDF and material recovery	
Paper	12,5%	Output Fraction		Output Fraction	
Plastics	76,5%			Plastics recovered	13,7 %
Fe	67,4%			Paper recovered	3,3 %
Non Fe	66,7%			Metals recovered	2,3 %
Inerts	57,1%			Inert recovered	3,1 %
Aer. Treat.Weight Loss**	28%	<20 mm rejected	12,0%	<20 mm rejected	12,0%
		>20 mm rejected	21,3%	>20 mm rejected	15,4%
		RDF High Quality	38,7 %	RDF Low Quality	22,1 %
		Characteristics of RDF		Characteristics of RDF	
		RDF NCV	17372 kJ/kg	RDF NCV	12732 kJ/kg
		RDF Ash	15%	RDF Ash	17,0 %

** Weight difference between input and oputput waste to/from aerobic treatment due to water evaporation and organic fraction degradation

Figura 61: proiezioni output dai due scenari di trattamento

Oltre al calo di massa dell28% stimato, si ricava un 20% di tasso di recupero di materia, un 27% di scarto e un 22 di combustibile da rifiuti di basa qualità.

Analoga simulazione è stata fatta dal Consorzio Priula nel 2008, sulla base di un rifiuto con composizione merceologica riportata nella tabella seguente.

In tale caso si rileva come cambino completamente le percentuali dell'output. La stima lascia intravedere un 45% di tasso di riciclaggio di materia, un 25% di scarto, un 11% circa di RDF, a fronte di perdite di massa del 17,6%.

Source Separated Collection Rate	70,0 %	Weight Loss	17,6 %
Residual Fraction Composition		**Expected output***	
Glass	1,6 %	RDF	11,4 %
Plastics	58,0 %	<20 mm Rejected	9,3 %
Metals	1,6 %	>20 mm Rejected	16,6 %
Non Combustibles	0,7 %	Fe	0,7 %
Paper	29,9 %	Paper	3,7 %
BMW**	8,2 %	Non Fe	0,1 %
TOTAL	100,0 %	Plastics	40,6 %
Moisture	24,8 %		
*set up for paper and plastics recovery enhanced **BMW=Biodegradable Municipal Waste			

Figura 62: Output atteso da rifiuto residuo proveniente da ambito con 70% di raccolta differenziata (Provincia di treviso)

RITEC – Autorità d'Ambito Marca Ambiente

Ad inizio 2008 sono state pubblicate le risultanze di una sperimentazione svolta presso l'impianto di trattamento dei rifiuto secco indifferenziato della RITEC, a Godega S. Urbano (TV).
Il rifiuto secco non riciclabile proveniente dalla raccolta differenziata effettuata nell'intera Provincia di Treviso contiene, in media, circa il 33% di materiali recuperabili. È quanto è emerso dalla sperimentazione sul rifiuto urbano residuo effettuata nel secondo semestre del 2007 presso l'impianto Ritec di Godega di Sant'Urbano.
L'indagine, fortemente voluta e auspicata dai vertici di CIT-Savno e condivisa dall'Autorità d'Ambito "Marca Ambiente", aveva come scopo la valutazione dell'efficacia di un sistema atto a migliorare ulteriormente i risultati ottenuti con la raccolta differenziata attraverso la sottrazione dalla frazione secca - già precedentemente separata a monte dai cittadini da tutti gli altri rifiuti - di quei materiali ancora recuperabili.
Tutto ciò con l'obiettivo di limitare ulteriormente il quantitativo di secco da conferire in discarica e per ridurre i crescenti costi di smaltimento a carico dei cittadini. La verifica sperimentale, effettuata sui rifiuti provenienti dai tre Bacini della Provincia di Treviso - il TV1, il TV2 (con Treviso e Mogliano) e il TV3 - è stata eseguita da ARPAV Osservatorio Regionale Rifiuti in stretta collaborazione con il CSA di Rimini, un'azienda altamente specializzata in analisi ambientali e riconosciuta a livello nazionale tra le più accreditate del settore.
L'identificazione del campione su cui eseguire la verifica è stato stabilito sulla base dei diversi sistemi di raccolta presenti nella provincia di Treviso: per ciascun sistema di raccolta (standard Savno, modello Priula,

Treviso Servizi, ecc.) sono stati selezionati più Comuni che nelle giornate stabilite hanno raccolto ed avviato all'impianto l'intero quantitativo di rifiuto secco prodotto .
Il rifiuto è stato quindi sottoposto a selezioni meccaniche e di lettori ottici per individuare le frazioni recuperabili ivi contenute (plastica, carta e metallo) che sono state poi analizzate qualitativamente al fine di verificare se rispondenti ai criteri di qualità fissati dal CONAI.
In generale i materiali recuperabili estratti erano in possesso di solo alcune delle caratteristiche qualitative richieste dal Consorzio Nazionale Imballaggi, pur tuttavia sono stati con successo tutti ri-collocati da Savno sul mercato.

Riportiamo qui di seguito in sintesi la percentuale totale di materiali recuperabili (carta + plastica + metallo) riscontrati nel secco residuo per ogni campione analizzato (Fig. 7), e la media totale di rifiuto recuperabile estratto dal secco residuo in ogni singolo Bacino (Fig.8).

DESCRIZIONE	QUANTITA' SECCO N.R. TRATTATO (KG)	% MATERIALE RECUPERATO
COMUNE DI MOGLIANO	21.150,00	39,39%
COMUNI SAVNO TV1 - Godega, Santa Lucia di P., Pieve di S., Mansuè, Portobuffolè, Segusino	18.770,00	32,71%
COMUNI CIT TV1: Tarzo, Cappella M., Cessalto, Cison di V., Revine L.	21.160,00	29,69%
COMUNI TV3: Cornuda, Trevignano, Altivole Caerano	27.470,00	32,98%
COMUNI TV3: Loria, Vedelago e Resana	31.950,00	31,46%
COMUNE DI SAN VENDEMIANO	18.200,00	38,85%
COMUNE DI TREVISO	23.410,00	37,25%
COMUNI CONSORZIO PRIULA: Quinto, Casale sul Sile, Casier, Morgano	28.350,00	36,33%

Figura 63

DESCRIZIONE	QUANTITA' SECCO N.R. TRATTATO (KG)	% MATERIALE RECUPERATO
BACINO TV1 (compreso San Vendemiano)	58.130,00	33,75%
BACINO TV2 (compresi Treviso e Mogliano)	72.910,00	37,65%
BACINO TV3	59.420,00	32,22%

Figura 64

In conclusione, i dati ottenuti dalla sperimentazione evidenziano come l'operazione di ulteriore selezione di rifiuto secco, che si colloca a valle della raccolta differenziata, permette di sottrarre concretamente una apprezzabile percentuale di materiali ancora recuperabili dal secco non riciclabile.
Tale sistema non si propone pertanto come alternativa alla raccolta differenziata, ma la integra e la migliora (come già avviene con successo in alcune realtà nordeuropee) rendendo possibile da un lato una limitazione al ricorso alla discarica - e quindi una riduzione dei costi di smaltimento -, e, dall'altro, un'entrata economica grazie alla reimmissione
di materie prime sul mercato.
Se infatti la raccolta differenziata, pratica che ha consentito ai Comuni della Marca di distinguersi in ambito nazionale, rimane condizione indispensabile per l'ottenimento di prodotti recuperati di alta qualità rispondenti a criteri CONAI (che richiede un certo standard di purezza), il materiale recuperabile estratto con il sistema descritto dal secco residuo può comunque trovare spazi nel mercato del recuperi, oggi particolarmente esigente di materie prime.
Tutto ciò consentirebbe altresì un miglioramento di 10 punti percentuali sull'ottimo risultato di differenziazione dei rifiuti ottenuto nella maggior parte dei Comuni della Marca.

Centro Riciclo di Vedelago (TV)

L'Azienda - Centro Riciclo Vedelago (TV) Via Molino 17 – 31050 Vedelago (TV) tel 0423 700178 (Direttrice Carla Poli, Amministratore unico Alessandro Mardegan) - è nata nel 1990 a Monselice. Nel 1997 si è trasferita a Vedelago come Centro Riciclaggio Vedelago a supporto del consorzio Priula TV2 e del Consorzio TV3 che avevano cominciato a pianificare la raccolta domiciliare nel 2000. Ha un bilancio di 5 Ml di € e si avvia ai 6 Ml. Attualmente l'organico è di 58 dipendenti: 7 in ufficio, i restanti operai su due turni.
Inizialmente ubicato in un piccolo capannone della zona artigianale di Vedelago, a seguito dell'incremento delle raccolte differenziate, nel 2003 il Centro Riciclo ha presentato un progetto di nuovo insediamento con volumi atti a soddisfare le esigenze del bacino di utenza servito e con inserimento di nuove tecnologie di trattamento del rifiuto residuale dalle selezioni di materiali destinati alle attività produttive.
Il progetto è stato approvato dalla Provincia di Treviso e nel giugno 2004 il Centro ha trasferito l'attività nella nuova sede. Ora è ubicato su un fianco della statale Postumia, a nord di Vedelago; si trova sul fondo di una delle tante cave di ghiaia del trevigiano, in depressione di circa 4-5 metri, su una superficie di 35.000 mq. Il Centro si compone di tre fabbricati: il più vecchio è un capannone del 2004 adibito alla selezione e all'imballo delle frazioni secche ricevute, un nuovo capannone del 2006 per la produzione di miscele a matrice prevalentemente plastica estruse a caldo, ottenute dagli scarti della selezione delle frazioni secche riciclabili. Antistante il secondo capannone un terzo edificio adibito a uffici e, al piano terra, un'aula per convegni e per ricevere le numerose classi delle scuole che fanno visita al Centro (circa 2100 ragazzi all'anno).

Il Centro ha avuto nel 2004 la certificazione del suo Sistema di Qualità per la produzione secondo le norme UNI 9001 (controllo processi di progettazione e produzione) e poi nel 2005 secondo il Sistema Qualità Ambientale ISO 14000. Questo è importante per la garanzia del controllo delle procedure e delle attività connesse di qualità. Non sono rilevabili forme di inquinamento da rumore e da odori all'esterno dei capannoni.

Le frazioni secche ricevute da Comuni, Consorzi ed Aziende, e quelle lavorate e imballate per la spedizione, sono collocate all'esterno dei capannoni perché i tempi di stoccaggio sono abbastanza brevi. I comuni che conferiscono sono della Provincia di Treviso (Consorzio Priula, Consorzio TV3 e singoli Comuni), della Provincia di Belluno (Comunità Montana del Feltrino, Comunità Montana Valbelluna etc), Altopiano di Asiago e altri Comuni Vicentini, i Comuni di Faenza, Imola e 17 Comuni limitrofi. Il Centro è attrezzato per rispondere alle esigenze in casi di emergenza di altre realtà (anche il Trentino vi ha conferito, per un'emergenza causa incendio del proprio centro di selezione, per un periodo di otto mesi le raccolte di un centinaio di comuni). Le aziende private industriali o commerciali dalle quali sono ritirati i rifiuti sono circa 300, collocate per la quasi totalità nella Provincia di Treviso.

È un impianto che può essere funzionale alla raccolta domiciliare dei rifiuti industriali e agricoli non pericolosi. Per esempio la Valplastic S.p.A. di Fontaniva consegna rifiuti per circa 2500 t/a e riceve plastica PET selezionata per circa 800 t/a .

Il numero di impianti di destinazione per le varie frazioni sono circa 45: 23 plastica, 1 vetro, 2 alluminio, 2 acciaio, 2 legno, 5 carta e cartone, 3 RAEE, 3 impianti recupero inerti e 1 discarica per la quota residua.
Il Centro fornisce materiali recuperati (plastiche) anche a impianti situati all'estero: Olanda, Germania, Austria, Slovenia etc.
Ha convenzioni con tutti i consorzi di filiera (salvo il Cobat - batterie usate): Corepla plastica, CNA metalli, Cial alluminio, Coreve vetro, Comieco carta, Rilegno legno. Riceve e smista subito anche un po' di inerti che riceve dai comuni e li invia ai riciclatori.

Il Centro seleziona e lavora circa 22.000 t/a di frazioni secche riciclabili, essenzialmente plastica, vetro, alluminio, pari a 80 t/giorno medie. Le frazioni secche riciclabili corrispondono a circa un milione di abitanti equivalenti serviti. Di seguito i flussi trattati negli anni scorsi con le diverse destinazioni:

	Anno 2003		**Anno 2004**		**Anno 2005**	
	Valori in Ton		Valori in Ton		Valori in Ton	
Giacenze iniziali	472,225		675,149		694,905	
Rifiuti in ENTRATA	**18.600,825**		**17.275,264**		**22.671,074**	
Rifiuti a RECUPERO DI MATERIA	**15.990,778**	**86,91%**	**15.289,566**	**88,61%**	**19.945,689**	**89,04%**
Rifiuti a RECUPERO Energetico	**14,320**	**0,08%**	**126,820**	**0,73%**	**454,160**	**2,03%**
Rifiuti smaltiti in discarica	**2.045,977**	**11,12%**	**1.473,520**	**8,54%**	**1.643,140**	**7,34%**
Perdita (calo) di processo	346,826	1,89%	365,602	2,12%	356,059	1,59%

Giacenze finali	675,149		694,905		966,931	

	Anno 2006		**Anno 2007**	
	Valori in Ton		Valori in Ton	
Giacenze iniziali	966,931		961,892	
Rifiuti in ENTRATA	**21.061,315**		**22.022,158**	
Rifiuti a RECUPERO	**18.893,310**	**89,69%**	**20.117,480**	**91,07%**
Rifiuti a RECUPERO Energetico	**341,160**	**1,62%**	**75,300**	**0,34%**
Rifiuti smaltiti in discarica	**1.147,040**	**5,44%**	**1.069,090**	**4,84%**
Perdita (calo) di processo	684,844	3,25%	827,467	3,75%
Giacenze finali	961,892		894,713	

Si nota che lo smaltimento è in riduzione e dall'avvio a regime dell'impianto della lavorazione di estrusione degli scarti da selezione dei rifiuti urbani e aziendali, il residuo è sceso all'1,5% nei primi mesi del 2008. Pertanto l'azienda ha ridotto drasticamente smaltimenti e relativi costi, producendo una sorta di "granulato" o "sabbia" sintetica, che viene venduta ad aziende locali del settore dello stampaggio delle materie plastiche e nel settore dell'edilizia nelle miscele di calcestruzzo e per manufatti in cemento.

Le linee di ingresso per la selezione sono sostanzialmente due, entrambe con forte utilizzo della selezione manuale su nastri trasportatori, che supportano sei combinazioni di frazioni secche riciclabili multimateriali o monomateriali, "multipesante" con vetro o "multileggero" senza vetro ottenute da raccolta domiciliare o da raccolte con campane stradali, o dalle aziende.

Il Centro comunque, prima di accettare un input, verifica che il metodo di raccolta garantisca una qualità accettabile per i processi di riciclo totale, intervenendo e collaborando con i Comuni nell'attività di informazione ai cittadini per ridurre la presenza di materiali "non conformi".

Molto severo anche il controllo in entrata dei carichi dei camion, per verificarne la provenienza e la conformità ai processi di trattamento.

Impianti di selezione

Linea 1, dedicata al "multimateriale-leggero": plastica mista e metalli, mono-plastica (flusso bottiglie/flaconi), plastica mista (es. TV3).

Linea 2, dedicata al "multimateriale-pesante": vetro/plastica/metalli (es. Priula), vetro/plastica (es. TV3), vetro/metalli (es.VI).

Un problema non irrilevante è costituito dalla presenza del vetro nel multimateriale. Infatti il vetro, frantumandosi sia durante la raccolta con auto-compattatori sia per effetto della lavorazione, usura fortemente gli impianti e le pezzature al di sotto dei 3 cm vengono considerate scarto dalla vetreria che lo riceve come materia prima seconda. Come previsto dallo stesso Consorzio Co.Re.Ve., anche al fine del

riconoscimento del contributo, il vetro dovrebbe avere sempre da raccolta monomateriale (in Germania viene addirittura separato "a monte" per colore).
La linea due ha la funzione precipua di togliere i materiali non conformi, i metalli, l'alluminio e il vetro, in modo che le plastiche possano essere avviate alla linea 1 per la separazione delle diverse tipologie di plastiche (per polimero e per colore – fino a 22 tipologie!).
Entrambe le linee di selezione prevedono l'impiego di manodopera (2 addetti per le 3 postazioni della linea 1 e 11 addetti per la selezione della plastica). La forte manualità delle operazioni consente un'accurata selezione delle tipologie con riconoscimento del premio di qualità previsto dal Consorzio Recupero Plastiche e permette, inoltre, di estrarre tipologie di plastiche (es. PE, PVC, vasi, reggette, etc) che non sarebbe possibile con sistemi automatici e sarebbero considerati scarti, mentre trovano buona collocazione sul mercato.
I prodotti finali selezionati sono quindi numerosi (es. plastiche 22 tipi), e la loro varietà può essere modificata in funzione del rendimento economico e/o delle richieste del mercato delle materie prime seconde che sono in continua evoluzione e specializzazione.
La qualità di tutti i materiali selezionati è alta e con impurità sempre sotto il 3%, tale da ottenere il massimo dei rimborsi CONAI e, per i prodotti non di competenza CONAI, il massimo prezzo di mercato che è sempre commisurato alla qualità.
La convenienza di una accurata selezione è evidente se si considera che smaltire gli scarti o collocare il CDR in impianti di incenerimento ha un costo superiore agli 80 €/t, escluso il costo del trasporto, mentre il costo industriale di selezione manuale del Centro è circa 50 €/t .
Le spedizioni sono effettuate, previo buono di prenotazione, alle aziende che riciclano i vari materiali e, per determinate tipologie, le consegne sono destinate ad aziende all'estero: in Olanda, Germania, Austria, Slovenia e Svizzera.
Le permanenze a stoccaggio dei prodotti selezionati sono molto brevi, perché la richiesta di materie prime seconde di qualità è alta.
Il prodotto granulato derivato dal trattamento degli scarti di selezione, come sottospecificato nella linea di riciclaggio dedicata, viene utilizzato in edilizia e nell'industria dello stampaggio ed è remunerato da 30 a 80 €/ton, contro un precedente costo di smaltimento in discarica o a incenerimento di 220 €/ton compreso il trasporto.

La linea di riciclaggio degli scarti di selezione

Le linee di selezione descritte determinano dei flussi di scarto (residuo di fine nastro, sottovaglio, ingombranti) che costituiscono in media il 42% dei conferimenti provenienti dalle raccolte differenziate dei Comuni e/o dei Consorzi. Tali flussi di scarto, prima destinati a discarica o a incenerimento, con l'attivazione di questa linea di riciclo rimangono nel Centro ed entrano nella linea di estrusione assieme agli scarti di produzione, a matrice prevalentemente plastica, conferiti dalle Aziende private industriali, artigianali, commerciali etc.
La linea di riciclo si compone delle seguenti fasi: controllo in ingresso - deferizzazione - triturazione - separazione particelle ferrose e non ferrose – estrusione – granulazione – vagliatura.
La linea tratta circa 2 ton/ora in ingresso su due turni di 7,5 ore ciascuno. Nella fase di controllo in ingresso alla linea vengono recuperati quei materiali che possono avere collocazione sul mercato (taniche, teli etc) e nella fase di deferizzazione vengono separati i materiali ferrosi.

Dopo la fase di triturazione si rende necessaria una seconda separazione delle parti ferrose e non ferrose (derivanti dalla triturazione dei giocattoli o altri oggetti compositi). Segue la fase di estrusione del "triturato misto" che, per effetto del processo, raggiunge la temperatura di 180°C e viene reso sotto forma di "masselli" di circa 5 cm di diametro. Durante il processo di estrusione viene espulsa l'umidità con conseguente calo di massa variabile dal 18 al 25%, e nel contempo l'estruso viene igienizzato. Segue il raffreddamento, la granulazione e la vagliatura del materiale in tre pezzature (fine, media e grossa) a seconda delle richieste di mercato.
Il granulato viene utilizzato, totalmente o in miscela con altre matrici plastiche, dalle industrie per lo stampaggio di manufatti (panchine, basi per sedie da ufficio, bancali, fioriere, casseri etc) e viene usato in edilizia, in sostituzione della sabbia e degli inerti, inserito nelle miscele in uso per la realizzazione di manufatti edili, massetti o cordoli stradali, pali, o in miscela negli asfalti, e per altri utilizzi.
Tutte le prove e le sperimentazioni sono state condotte con i laboratori dell'Università di Padova che hanno messo in evidenza anche le caratteristiche migliorative conferite ai manufatti con l'utilizzo del granulato (coibentazione, portanza, isolamento etc).
Inoltre, l'utilizzo di questi materiali ha un pre-requisito fondamentale: non avere tossicità in quanto il controllo delle matrici in ingresso garantisce l'assenza di rilasci nell'ambiente - o nelle abitazioni - e le verifiche a norma di legge vengono eseguite sui processi produttivi.
Infine, le aziende che acquistano e utilizzano il granulato per la produzione di manufatti, hanno sperimentato e certificato gli stessi a norma UNI e secondo i vigenti regolamenti normativi.
Tutti i manufatti realizzati con utilizzo del granulato sono riciclabili o inseribili anche in altri cicli produttivi.

La sperimentazione sul secco residuo urbano

Al Centro si è fatta la sperimentazione su 150 ton di frazione secca residua urbana pre-trattata del consorzio Priula, per verificare se, sottoposta al trattamento di estrusione, poteva dare lo stesso granulato ottenuto dagli scarti delle linee di selezione.
I risultati positivi sono comunque stati raggiunti integrando la matrice proveniente dalla frazione secca residua urbana pre-trattata con aggiunta di scarti a matrice prevalentemente plastica.
Infatti nella composizione merceologica della frazione secca pre-trattata si è riscontrata eccessiva presenza di carta, tessuti, metalli, nonché eccessiva presenza di sostanza organica.
Al fine di ottenere una matrice in ingresso che non abbisognasse di consistenti aggiunte di altre matrici specifiche sono stati indicati i seguenti accorgimenti:

- controllo in ingresso (evitando i conferimenti da cassonetto stradale) e selezione delle frazioni riciclabili da effettuarsi prima del pre-trattamento;
- potenziamento della deferrizzazione nella fase di lavorazione;
- abbattimento della frazione organica, indice di una poco attenta raccolta differenziata da parte dei cittadini, con campagne di informazione mirate e con raccolta a parte dei pannolini e pannoloni (da soli costituiscono circa il 20% della frazione secca residua) da trattarsi a parte;

Questi accorgimenti consentirebbero di sottoporre al trattamento di estrusione anche la frazione secca residua urbana ottenendo un granulato con idonee caratteristiche per essere certificato e impiegato. A sostegno di tale tesi sono state, successivamente, condotte diverse indagini merceologiche sulle frazioni secche residue di specifici Comuni ed è stato verificato che la composizione merceologica è compatibile con il processo di riciclo del Centro e, quindi, il progetto risulta tecnicamente fattibile.

Nel corso dell'ultimo anno è stata approvata dalla Provincia di Treviso una integrazione autorizzativa con un codice che consente all'azienda di ritirare rifiuto urbano residuo sperimentalmente da Comuni con raccolte domiciliari spinte.

Il rifiuto residuo indifferenziato ritirato da un Comune è stato mixato con scarti plastici provenienti dalle linee di selezione interne degli imballaggi in plastica, previa selezione manuale per estrarne le frazioni di disturbo: essenzialmente pannolini, organico, metalli, inerti.

L'attività è condotta ed è stata supervisionata dai tecnici della Provincia, che hanno attestato nel corso del 2009 la rispondenza del granulato alle norme tecniche per la sua collocazione sul mercato edile e dello stampaggio delle materie plastiche. Il bilancio di massa secondo informazioni avute dal Comune coinvolto nel progetto è confortante, se si tiene conto che il Comune in questione è passato da poco al sistema domiciliare spinto: la frazione estrusa e inviata a riciclo corrisponde al 70% circa dell'input di rifiuto urbano residuo.

Linea di selezione/estrusione presso Centro Riciclo vedelago

Par. 4 - Taglia dell’impianto e tecnologia proposta

Introduzione

L’impianto oggetto del presente studio di fattibilità nasce per il ricevimento, lo stoccaggio e la selezione delle frazioni secche dei rifiuti solidi urbani raccolti in modo differenziato; di rifiuti assimilati agli urbani; di rifiuti ingombranti e di rifiuti speciali non pericolosi raccolti in modo selezionato.
L’impianto prevede anche una lavorazione degli scarti prodotti dalla selezione e del residuo secco indifferenziato raccolto. La piattaforma tratta un flusso complessivo di materiali pari a 35.000 t/anno, copre un’area di circa 12.000 mq e serve un bacino d’utenza di 140.000 abitanti equivalenti.
Da un primo dimensionamento a servizio del bacino C5 di 70.000 abitanti circa, per effetto dell’analisi economico finanziaria si è reso necessario rivedere tale valore, che è stato impostato in base all’ipotesi di fare lavorare la piattaforma su 2 turni.
L’impianto è posto pertanto a servizio dell’area e dei Comuni di sua competenza per la selezione dei rifiuti non pericolosi raccolti dai gestori del servizio pubblico e derivanti da:

1. Raccolta domiciliare monomateriale (carta/cartone e residuo) e multimateriale (plastica/metalli);
2. Raccolta stradale/domiciliare monomateriale (vetro);
3. Raccolta da CRM e CRZ (imballaggi di plastica, plastica dura e ingombranti);
4. Raccolta di imballaggi e rifiuti da imballaggi tramite container presso utenze non domestiche;
5. raccolta del rifiuto urbano residuo o indifferenziato.

Le attività svolte nell’impianto sono le seguenti:

a) Attività di messa in riserva di rifiuti urbani raccolti in modo differenziato monomateriale e di rifiuti speciali non pericolosi raccolti in modo selezionato monomateriale, da sottoporre a lavorazione presso l’impianto stesso o altri impianti per la loro trasformazione in materie prime seconde.
b) Attività di selezione ed eliminazione delle impurezze, tramite operazioni sia meccaniche che manuali, dei rifiuti provenienti da raccolta domiciliare e da isola ecologica.
c) Attività di trasformazione dei rifiuti selezionati e privati delle impurezze in materie prime seconde, nel rispetto delle norme tecniche del D.M. 05/02/1998.
d) Attività di trasformazione degli scarti di selezione e di rifiuti misti indifferenziati in miscele a matrice prevalentemente plastica da impiegarsi come aggreganti in malte cementizie, o come sostituti da stampaggio, nel rispetto della normativa UNI 10667-14:2003.

Il layout

(Vedasi allegato tavola 1 impianto)

Zona – 1 (Capannone 1)
A – Linea di Selezione
La linea di selezione trova alloggiamento all’interno di un capannone di luce di 30 mt, lunghezza 80 mt ed altezza interna minima di 10 mt. I rifiuti sottoposti a trattamento mediante questa linea sono:

- carta e cartone, imballaggi di plastica e metalli provenienti dalle raccolte sul territorio;

- carta e cartone, imballaggi di plastica e di metallo provenienti dalla selezione manuale degli ingombranti (C)

B – Linea di pressatura

La linea di pressatura trova alloggiamento all'interno dello stesso capannone della linea di selezione (A). I materiali sottoposti a pressatura ed imballaggio sono:

- carta e cartone, alluminio, plastiche e scarto di fine linea in uscita dalla linea di selezione (A);
- plastiche e scarto provenienti dalla selezione manuale degli ingombranti (C);
- rifiuti plastici preselezionati provenienti da aziende;
- alluminio proveniente dalla linea di riciclo (D).

Zona – 2 (capannone 2)

A0 – Messa in riserva dei rifiuti destinati a selezione e del residuo secco indifferenziato.

In questo comparto vengono stoccati temporaneamente i rifiuti differenziati prima di essere avviati alla linea di selezione (carta e cartone; imballaggi di plastica e metalli) e il residuo secco indifferenziato, prima di essere inviato alla linea di riciclo (D).

Il materiale viene stoccato in cumuli non più alti di tre metri all'interno di bunker coperti da tettoia, aventi una superficie complessiva di 400 m2.

C (Capannone 3) – Ricevimento e selezione manuale dei rifiuti ingombranti (RI)

In questo comparto avviene la selezione manuale dei rifiuti ingombranti provenienti da isole ecologiche. Il capannone ha un'area di circa 300 m^2. Il materiale viene suddiviso nel modo più accurato possibile. Se risultasse necessario, il materiale può essere inviato alla linea di selezione (A) per ulteriore separazione. Nella definizione del bilancio di massa si è comunque tenuto conto che una percentuale di rifiuto debba essere riprocessata dalla linea di selezione.

E – Messa in riserva in cumulo dei rifiuti da imballaggio di vetro

Il vetro raccolto mediante campane stradali non necessita di una ulteriore selezione, pertanto viene temporaneamente stoccato in cumulo, sotto tettoia, per poi essere sottoposto a lavorazione presso altri impianti.

Zona – 3 (Capannone 2)

D – Linea di riciclo

La linea di riciclo costituisce un impianto industriale vero e proprio e pertanto viene allocata all'interno di un capannone dedicato. Tramite questa linea si produce un granulo a partire da:

- scarti della linea di selezione (A);
- scarti della selezione manuale dei rifiuti ingombranti (C);
- residuo secco indifferenziato.

Il prodotto in uscita viene stoccato in cumuli o direttamente raccolto in "big bags", che trovano alloggiamento sotto il capannone stesso.

Zona - 4

F – Stoccaggio dei prodotti di selezione

I prodotti in uscita dalla linea di pressatura e imballaggio (B) trovano alloggiamento su un piazzale in cls per un totale di 1500 m2. Per i prodotti per i quali non è prevista pressatura (acciaio, legno, inerti) è previsto uno stoccaggio in cumulo coperto o in container.

Zona – 5
Nella quinta e ultima zona, si trovano gli ingressi all'area dell'impianto, i parcheggi, la cabina di trasformazione e la pesa per camion ed autoarticolati.

Bilancio di massa

Nella tabella seguente sono riportati i flussi dei materiali in ingresso previsti per l'impianto, secondo le ipotesi di ottimizzazione delle raccolte sul territorio precedentemente descritte.

Materiale	Modalità di raccolta	PP kg/abeq*a	Quantità t/anno
carta	pap	60	8400
cartone	pap/CRM	15	2100
TOTALE			**10500**
Plastica	pap sacco	25	3500
plastica isola	CRM/CRZ	10	1400
metalli ferrosi	pap sacco	5	700
metalli non-ferrosi	pap sacco	2	280
TOTALE			**5880**
Vetro	CASS	45	6300
Ingombrante	CRM/CRZ	20	2800
TOTALE frazioni secche differenziate			**25480**
RUR		70	**9800**
TOTALE			**35280**

Tabella 11. Flussi in ingresso all'impianto

Le operazioni svolte nell'impianto sono:

1) Selezione manuale e meccanica di rifiuti raccolti in modo differenziato e presso CRM e CRZ (19.200 t/a);
2) Messa in riserva di rifiuti selezionati (6.300 t/a);
3) Attività di pressatura e imballaggio delle MPS prodotte (17.000 t/a a cui si aggiungono 5.000 t/a di scarti plastici industriali conferiti da aziende come rifiuto da smaltire);
4) Trasformazione di scarti di selezione e rifiuto indifferenziato (13.000 t/a, di cui 9.800 t/a di R.U.R. e 3.200 di scarti di selezione).

L'attività di cui al punto 2 si riferisce ai soli rifiuti differenziati, conferiti all'impianto, che non subiscono nessun altro trattamento o operazione (vetro da imballaggio).

Le attività di selezione generano i seguenti prodotti in uscita dall'impianto:

a) materiale plastico di competenza Co.Re.Pla, selezionato e imballato: 2.800 t/a composto da: flaconi e bottiglie in PET, azzurrato, colorato e incolore, contenitori in PE, cassette, film, misti di poliolefine, contenitori misti in PET, contenitori in tetrapack.
b) Carta e cartone selezionati e imballati, rispettivamente: 8.100 e 2.000 t/a.
c) Imballaggi di alluminio e banda stagnata, selezionati e imballati: 300 t/a.
d) Acciaio e metalli ferrosi selezionati: 1.000 t/anno.
e) Contenitori in tetrapack selezionati ed imballati: 400 t/a.
f) Vetro da imballaggio: 6.300 t/a.
g) Vetro da imballaggio sottoposto a sola messa in riserva: 6.300 t/a.

Oltre alle sopraccitate classi merceologiche di prodotti, l'impianto produce anche:

h) Legno, tessuti, inerti e vetro proveniente da rifiuti di non imballaggio: 1.000 t/a.
i) Rifiuti classificati RAEE e pericolosi: 300 t/a.

I prodotti riportati alle lettere h) e i) vengono avvianti a recupero, nonostante ciò potrebbero costituire una fonte di spesa per l'impianto o comunque non generare alcun introito.

Le attività di selezione generano uno scarto che viene imballato e stoccato in apposita area adiacente al Capannone 2 pronto per poter essere interamente processato dalla linea di riciclo (D). Quest'ultima consente di effettuare un'ulteriore selezione del materiale prima di trasformarlo in granulo:

l) Scarti da linea di selezione (A): 2.000 t/a;
m) Scarto da selezione dei RI (C): 1.100 t/a;

oltre agli scarti di selezione, la linea di riciclo (D) tratta e trasforma il residuo secco indifferenziato, per un totale di 9.800 t/a. Gli scarti prodotti da questa linea costituiscono un residuo che non può essere lavorato e che pertanto deve essere avviato a smaltimento (2.200 t/a).

A fronte di un input di 35.300 t/a, il bilancio di massa sarà il seguente:

output	t/anno	%
Materiale a recupero	23.300	66%
Scarto a smaltimento	2.200	6%
Granulo eterogeneo	7.500	21%
Perdite di processo	2.300	7%
totale	35.300	100%

Tabella 12. Bilancio di massa.

Tipologia e quantità di rifiuti conferiti all'impianto

a) rifiuti sottoposti a selezione meccanica mediante la linea si selezione (A) sono:
    - imballaggi di plastica e di metallo: 5.900 t/a;
    - carta e cartone: 10.500 t/a;
    - plastica, metallo, carta e cartone proveniente dalla selezione dei rifiuti ingombranti: 500 t/a.
b) rifiuti sottoposti a cernita manuale (C) sono:

- rifiuti ingombranti: 2.800 t/a.

c) rifiuti sottoposti a sola messa in riserva (E) sono:
  - vetro da imballaggio: 6.300 t/a.

d) rifiuti sottoposti a trattamento di trasformazione in granulo (D) sono:
  - residuo secco indifferenziato: 9.800 t/a.

Si prevede anche che l'impianto possa riceve rifiuti speciali non pericolosi di natura plastica, quali imballaggi etc. In base alla tipologia dei rifiuti conferiti, questi possono essere destinati alla linea di riciclo (D) o al mercato delle materie plastiche come MPS, previa operazione di pressatura ed imballaggio.

Si stima una quantità massima di scarti plastici industriali conferiti all'impianto pari a circa 5.000 t/a.

Nella pagina successiva sono riportati i diagramma di flusso delle varie attività condotte nell'impianto. Non sono evidenziate le operazioni di messa in riserva dei rifiuti in arrivo (A0), dei prodotti intermedi e delle MPS in uscita (F).

DIAGRAMMA DI FLUSSO – SELEZIONE CARTA/CARTONE e MULTIMATERIALE

DIAGRAMMA DI FLUSSO – SELEZIONE RIFIUTI INGOMBRANTI

DIAGRAMMA DI FLUSSO – SELEZIONE VETRO E SCARTI PLASTICI INDUSTRIALI

DIAGRAMMA DI FLUSSO – PIATTAFORMA DI RICICLO SCARTI E R.U.R.

Bilancio di massa linea di selezione (A)

Input	t/anno	%
Carta e Cartone monomateriale (PaP)	10.500	64%
Multi materiale leggero plastica + metalli (PaP)	5.900	36%
TOT	16.400	100%

Output	Destinazione	t/anno	%
Carta	Cartiere	8.100	50%
Cartone	Cartiere	2.000	13%
Plastica	Co.Re.Pla	2.800	17%
Tetrapak	Cartiere	400	2%
Alluminio	Acciaierie	300	2%
Acciaio	Acciaierie	800	4%
Scarti di selezione	Linea di Riciclo (D)	2.000	12%
TOT		16.400	100%

Bilancio di massa Selezione manuale dei rifiuti ingombranti (C)

Input	t/anno	%
Rifiuti ingombranti da CRM e CRZ	2.800	100%
TOT	2.800	100%

Output	Destinazione	t/anno	%
Imballaggi + carta + metalli	Linea di Selezione (A)	500	18%
Plastica non imballaggio	Recupero o Riciclo (D)	300	11%
Film di grandi dimensioni	Co.Re.Pla	300	11%
Legno	Recupero	250	8%
Tessuti	Recupero	100	4%
Inerti	Recupero	100	4%
Vetro imballaggio	Recupero	50	2%
Vetro non imballaggio	Recupero	50	2%
RAEE e pericolosi	Recupero	50	2%
Scarti di selezione	Linea di Riciclo (D)	1.100	38%
TOT		2.800	100%

Bilancio di massa Linea di Riciclo (D)

Input	t/anno	%
Scarto dalla linea di Selezione	2.000	16%
Scarto dalla cernita dei rifiuti ingombranti	1.100	9%
Residuo Secco Indifferenziato	9.800	76%
TOT	13.000	100%

Output	Destinazione	t/anno	%
Materiali recuperabili	Recupero	1.000	8%
Scarto non recuperabile	Smaltimento	2.200	17%
Perdite di processo	-	2.300	18%
Granulo Eterogeneo	Recupero	7.500	57%
TOT		13.000	100%

Descrizione del processo

La linea di selezione (plastica, metalli, carta)
POS 1
Tramoggia primaria fuori terra di carico con pala, di dimensioni 2.400x4.500 mm, della capacità di 14 m^3. I rifiuti vengono prelevati dalla zona di stoccaggio e vengono caricati all'interno della tramoggia per mezzo di pala gommata. La tramoggia di carico funge anche da polmone di accumulo in caso di afflusso discontinuo del materiale.

POS 2
Nastro estrattore che estrae il materiale dalla tramoggia e lo scarica sul nastro di elevazione, a tapparelle metalliche con gomma sovrapposta. Larghezza del nastro circa 1.000 mm e portata massima di 8.000 kg. Velocità variabile con motoriduttore ed inverter; potenza installata di 5,5 kW.

POS 3
Nastro trasportatore di alimentazione alla cernita, con tappeto gommato antiolio a lisca di pesce, di lunghezza 13,5 m e larghezza di 1.000 mm. Traino con motoriduttore da 4 kW.

POS 4
Nastro di cernita manuale orizzontale con tappeto gommato antiolio strisciante, di lunghezza 15 m circa e larghezza 1.200 mm (4 kW), con prima piattaforma di cernita manuale a tre postazioni per lato con piano di calpestio in lamiera bugnata, parapetti e scala di accesso inclinata. Gli operatori effettuano manualmente l'apertura di eventuali sacchi chiusi oltre che la preselezione manuale di materiali non eseguibile per via meccanica come ad esempio, legno, polistirolo, cassette di plastica, film di grandi dimensioni ed oggetti di grossa pezzatura e di quei materiali che potrebbero danneggiare i macchinari come per esempio, calcinacci, inerti di grosse dimensioni e vetro. La suddetta piattaforma ospita anche la postazione di deferrizzazione automatica.

POS 5
Nastro di deferrizzazione a magneti permanenti per la selezione dei metalli ferrosi, alloggiato sopra il nastro di cernita in direzione trasversale rispetto quest'ultimo. Il magnete attrae tutti gli oggetti in materiale ferromagnetico i quali aderisco al nastro gommato, questo trasporta il materiale lontano dal magnete lasciando cadere il rifiuto in una apposita tramoggia che alimenta in cassone o box di raccolta posto sotto di essa. Larghezza del nastro di circa 1.000 mm e lunghezza di circa 2.000 mm. Velocità fissa con motoriduttore (potenza circa 2,2 kW)

POS 6
Separatore a correnti parassite (ECS) di tipo "a rullo" per la selezione dei metalli non ferrosi dal flusso di materiali leggeri, posizionato in prossimità del fine nastro di cernita manuale. L'asse del rotore magnetico è in posizione trasversale rispetto la direzione di avanzamento del materiale. Le correnti parassite generate nei metalli non ferromagnetici (leghe di alluminio, leghe di rame, acciaio inox ecc.) dalla variazione del campo magnetico del rullo posto in rotazione, generano una forza di repulsione che si oppone alla

variazione stessa causando l'allontanamento di questi materiali. I metalli vengono raccolti in un cassone posto sotto un deviatore di flusso che separa i metalli dal resto del flusso leggero.

POS 7
Nastro trasportatore di alimentazione al vaglio rotante, con tappeto gommato antiolio liscio di larghezza 800 mm e lunghezza 14 m circa. Traino con motoriduttore da 4 kW.

POS 8
Nastro trasportatore di alimentazione al vaglio rotante con tappeto gommato antiolio liscio di larghezza 800 mm e lunghezza 4.500 m.

POS 9
Vaglio rotante, con tamburo da 1.300 mm di diametro e lunghezza utile di vagliatura di 2.000 mm avente lamiere bullonate con fori da 50 mm di diametro. Il vaglio rotante genera due flussi di materiali: uno fine avente dimensioni inferiori a 50 mm che viene raccolto da apposita tramoggia posta sotto tutta la lunghezza del tamburo; ed uno grossolano costituito dal materiale di pezzatura superiore a 50 mm che viene raccolto ad una delle due estremità del vaglio. Potenza installata 3 kW.

POS 10
Nastro trasportatore di stoccaggio dello scarto del vaglio rotante su scarrabile, con tappeto gommato liscio antiolio di larghezza 500 mm e lunghezza 2 m circa. Traino con motoriduttore da 3 kW.

POS 11
Nastro elevatore a tazze di alimentazione al silo, con tappeto gommato antiolio di larghezza 800 mm e lunghezza 8,5 m circa. Traino con motoriduttore da 7,5 kW

POS 12
Silo per stoccaggio bottiglie e flaconi in plastica vagliati, della capacitò di 200 m3 circa, realizzato in lamiere zincate grecate e nervate. Predisposto per l'ingresso del materiale dal nastro elevatore a tazze (POS 11) e flangiatura per accoppiamento allo scarico con nastro estrattore (POS 13).

POS 13
Nastro estrattore sotto silo, a tapparelle metalliche di larghezza 1.000 mm e lunghezza 6.000 mm circa e nastro trasportatore di alimentazione della seconda stazione di cernita. Potenza complessiva installata 8 kW.

POS 14
Nastro di cernita manuale orizzontale, con tappeto gommato antiolio strisciante di larghezza 1.200 mm e lunghezza 20 m circa (4kW), con seconda piattaforma di cernita manuale a sei postazioni per lato, con piano di calpestio in lamiera bugnata, parapetti e scale inclinate di accesso. Gli operatori selezionano gli imballaggi di plastica per polimero e colore secondo le specifiche Co.Re.Pla oltre ai contenitori in tetrapak. Le varie frazioni selezionate cadono in tramogge di stoccaggio dove, all'occorrenza, vengono spinte dall'operatore con pala gommata sul nastro di alimentazione della pressa.

POS 15
Nastro in fossa di raccolta materiali selezionati, a tapparelle metalliche di larghezza 1.200 mm e lunghezza 18 m. nastro di alimentazione della pressa, a tapparelle metalliche di larghezza 1.400 mm e lunghezza 16 m circa.

POS 16
Pressa imballatrice con pressione di esercizio di circa 100 bar, spinta di chiusura di circa 150 tonnellate e potenza complessiva di circa 110 kW. Dimensione balle: 1.000 x 1.100 x 1.100 mm

La linea di selezione – carta e cartone

La selezione della carta coinvolge solo una porzione della linea di selezione, in quanto si tratta di materiale proveniente da raccolta porta a porta monomateriale e quindi, in linea di massima, privo di materiali estranei.
Il materiale viene carico mediante pala meccanica o polipo all'interno della tramoggia di carico (POS 1). Il nastro estrattore e il nastro trasportatore (POS 2 e POS 3) prelevano il rifiuto dal fondo della tramoggia e viene condotto verso la piattaforma di selezione manuale (POS 4). A questo punto, 2 o più operatori effettuano la selezione e la separazione del flusso di materiali in carta e cartone e, all'occorrenza, in altre classi merceologiche a seconda delle richieste di mercato.
I prodotti selezionati e privati dalle impurezze vengono accumulati nei silo posti al di sotto del nastro di cernita manuale. Raggiunta la massima capienza di stoccaggio, il materiale viene prelevato mediante pala gommata e trasportata sopra il nastro di alimentazione del pressa imballatrice (POS 15).

Cernita rifiuti ingombranti
I rifiuti ingombranti vengono conferiti all'impianto mediante automezzo con cassone ribaltabile. L'operatore scarica il materiale presso il capannone identificato come Capannone 3 (vedasi tavola Layout) per le operazioni di cernita manuale (C). Due o più operatori svolgono la prima attività di cernita del materiale dividendo il cumulo in due cumuli più piccoli costituiti da:

a. materiale ulteriormente selezionabile manualmente:
    - mobili, oggetto d'arredo;
    - plastica dura;
    - film di grandi dimensioni;
    - tessuti, cuoio e gomma;
    - plastica non imballaggio;
    - inerti;
    - vetro di imballaggio;
    - vetro non di imballaggio;
    - RAEE e pericolosi;
    - Metalli non imballaggio;
    - Voluminosi diversi.
b. Materiale ulteriormente selezionabile per via meccanica:
    - Imballaggi di plastica;

- Imballaggi di alluminio;
- Carta e cartone

Il cumulo di materiale di cui alla lettera a) viene sottoposto ad ulteriore cernita da parte di altri operatori che separano i rifiuti nelle diverse tipologie di materiale (plastica, metalli, vetro ecc.). All'occorrenza, gli operatori saranno dotati di attrezzature idonee allo smontaggio di oggetti composti da più materiali differenti, come per esempio mobili d'arredo o chassis di elettrodomestici. I materiali così separati vengono raccolti in cassoni scarrabili precedentemente ed appositamente identificati.
Il cumulo di materiale di cui alla lettera b) viene raccolto mediante pala meccanica e avviato alla linea di selezione (A) dove è sottoposto alle operazioni di cernita insieme al multimateriale leggero.
Lo scarto di selezione viene raccolto ed inviato alla linea di riciclo degli scarti (D).

La linea di riciclo degli scarti e del residuo

Il materiale in ingresso, sottoforma di balle o sfuso viene preparato per essere caricato sul nastro di alimentazione dell'impianto. Grazie al passaggio su di un vaglio stellare, il materiale così aperto è pronto per essere selezionato manualmente al fine di intercettare eventuali frazioni riciclabili importanti quali PET,HDPE o PP oltre ad intercettare corpi estranei di dimensioni importanti.
Successivamente il materiale è caricato in un trituratore idraulico per ottenere una pezzatura omogenea e adeguata alla fase successiva di densificazione. A questo punto, il materiale opportunamente veicolato verso gli estrusori-densificatori.
Grazie agli estrusori il materiale subisce un trattamento termo-meccanico che permette di densificare, sciogliere e omogeneizzare le plastiche presenti in prevalenza LDPE e ottenere una matrice fusa che attraverso un nastro immerso in una vasca di lavaggio e raffreddamento viene convogliato nei granulatori al fine di ottenere un materiale granulato conforme alla norma UNI 10667-14 (UNIPLAST – Norme tecniche plastiche di riciclo). A questo punto il prodotto così ottenuto è pronto per essere collocato sul mercato sfuso o in sacconi (big-bags).

Codice	Q.tà	Descrizione	Potenza installata*	
NT01	1	Nastro carico linea	kW	3,00
NT02	1	Nastro carico vaglio	kW	3,00
VA01	1	Vaglio	kW	7,50
NT03	1	Nastro raccolta sottovaglio	kW	3,00
NT04	1	Nastro trasporto sottovaglio	kW	3,00
NT05	1	Nastro trasporto sopravaglio e selezione	kW	3,00
CS01	1	Cabina di selezione	kW	0,00
SM01	1	Separatore magnetico	kW	5,00
KR01	1	Trituratore Promeco KR 1800-700-132 compreso rialzo	kW	137,00
NT06	1	Nastro scarico trituratore	kW	3,00
PES01	1	Promeco Extruder System PES600	kW	400,00
VA01	1	Vasca di lavaggio	kW	0,00
NT07	1	Nastro di lavaggio	kW	3,00
NT08	1	Nastro carico trituratore	kW	3,00
KR02	1	Trituratore Promeco KR 1800-700-160i	kW	165,00
NT09	1	Nastro elevazione triturato	kW	0,00
	1	Automazione	kW	0,00
	1	Quadro elettrico (NTxx+NR01+SM01+VA01)	kW	0,00

INPUT	OUTPUT	2-600
Sovvallo RSU, Carta, Cartone, Plastiche, Car-fluff (residui demolizione auto)	CDR/RDF in Pellets & Bricchette *$30 < \Phi$ (mm) < 200*	$\le$ 3.000 kg/h
FORSU, Fanghi, Verde	Compost	$\le$ 20 m^3/h
Materiale Ligneo-cellulosico	Sostituto di Torba	$\le$ 15 m^3/h
Termoplastici e Termoindurenti	Profili finiti ed addensati per granulazione	$\le$ 2.000 kg/h

Figura 65: estrusore

I materiali in ingresso, dopo eventuali operazioni di pretrattamento, sono caricati nella tramoggia di alimentazione (Pos 1) della macchina PROMECO EXTRUDER SYSTEM.
Il bunker di carico è equipaggiato con una coppia di coclee che fanno avanzare il materiale verso una tavola vibrante (Pos 2) che dosa il flusso in ingresso alla camera di estrusione (Pos 3), dove ha luogo il processo di "disintegrazione termo-meccanica" del materiale per mezzo del riscaldamento e della parziale disgregazione indotta dal frizionamento meccanico.
Sulla base di opportuni indicatori di livello, i sistemi di adduzione del materiale sono sottoposti a fermo in caso di riempimento, per essere poi riavviati quando necessita del nuovo materiale.
Per la produzione di bricchette o pellets, all'uscita dalla camera di estrusione i materiali attraversano una matrice di estrusione (Pos 5), la cui sezione è funzione delle caratteristiche richieste (dimensioni e forma), oltre ad essere equipaggiata con un sistema di regolazione idraulica che ne controlla la pressione; nel caso dei pellets tale sistema non è necessario.
Il fuso che esce in continuo dalla matrice di estrusione deve essere sottoposto al passaggio in un impianto di taglio per la regolazione della lunghezza del prodotto. In corrispondenza dell'impianto di taglio e sopra la camera di estrusione un sistema di aspirazione raccoglie eventuali polveri e vapori e li convoglia al trattamento.
Il sistema di raffreddamento del riduttore, al quale l'Extruder è strettamente vincolato, è costituito da un circuito chiuso ad olio.
La velocità del motore principale (Pos 4) è regolabile, consentendo l'ottimizzazione dei giri del PROMECO EXTRUDER SYSTEM in base al quantitativo di materiale effettivamente trattato e alle caratteristiche del prodotto in uscita.

Figura 66: utilizzi della macchina di estrusione

Pos. 1 Tramoggia di alimentazione

La tramoggia è realizzata completamente in acciaio ed il sistema di alimentazione è costituito da due coclee di avanzamento, la cui velocità (rpm) è regolabile attraverso il motore con inverter da 3 kW. È inoltre presente un indicatore di livello per gestire il riempimento della tramoggia.

Pos. 2 Tavola vibrante
La tavola vibrante è in acciaio inossidabile ed è collocata su 4 supporti in gomma. Due motori eccentrici da 0,55 kW sono posti ai lati della struttura. La tavola vibrante ha la funzione di dosare al meglio il materiale da trattare nella camera di estrusione. L'intera struttura è predisposta per essere collegata al sistema di captazione delle arie esauste, attraverso una cappa di aspirazione.

Pos. 3 Extruder tipo 2-600

L'Extruder è costituito da:
– Telaio di sostegno e di appoggio
– Riduttore per motore da 400 Kw Olio ISO VG 220 (275 kg) - Sistema raffreddamento olio da 0,75 kW
− Sezione di estrusione

Piastre di varie dimensioni e due coclee controrotanti.

I diversi componenti sono ricoperti con materiali ad elevata resistenza meccanica. Il basamento è rinforzato; il riduttore e la tramoggia di carico sono vincolati al telaio della macchina.
Tutte le forze create dalle macchine in movimento sono bilanciate dai relativi cuscinetti di tenuta e da elementi statici, in modo da non trasferire ulteriori carichi sul terreno. Tutte le parti sono imbullonate.

Pos. 4 Motore principale

Motore a corrente alternata 400 kW, 1000 giri/min, 400 V, 50 Hz. Frizione di sicurezza
Pos. 5 Matrice di estrusione (Applicazione per produrre bricchette o pellets) Matrice per la sagomatura delle bricchette o pellets, realizzata per un facile ricambio dei pezzi di ricambio usurati e secondo le specifiche desiderate (forma, dimensioni) per il materiale in uscita. La matrice può essere pre-riscaldata con resistenze elettriche per ottimizzare il processo o ridurre i tempi di messa in esercizio.

Pos. 6 Cilindro idraulico (Applicazione per produrre bricchette)

Pos. 7 Pompa idraulica (Applicazione per produrre bricchette)

Pompa idraulica per la regolazione della pressione sulla matrice di sagomatura bricchette.

Pos. 8 Pannello di comando e controllo

Il sistema di comando e controllo è basato su PLC Siemens S7 300, installato all'interno di un pannello centrale a sua volta collegato ad un touch screen Siemens TP 170, dal quale è possibile il controllo dell'intera macchina.
Il quadro elettrico principale è composto da: fusibili, trasformatori, ventilazione, voltmetri e amperometri, interruttori, inverter per motore principale e bunker, PLC, teleservice per assistenza a distanza, dispositivi di sicurezza. Il pulpito di comando è composto da touch screen panel per la modifica dei principali parametri della macchina, modalità automatica e manuale, avvio, fermo e reverse dell'Extruder, bunker e matrice.

Par. 5 - Ipotesi di lavoro e dimensionamento

La tecnologia individuata deriva da un preciso percorso logico: dapprima si è partiti dalla esigenza di riciclaggio del rifiuto urbano residuo (indifferenziato); in seguito si è verificato essere necessario disporre di miscele di scarti plastici per poter portare il RUR alla composizione richiesta dalle norme tecniche ai fini di riciclo in determinati settori.
Infine si è valutato come ottimale ipotizzare una piattaforma che potesse intercettare parte degli scarti riciclabili- soprattutto i plastici – che avrebbero consentito le sinergie e i mix di flussi tali da rispondere alle esigenze della linea di granulazione.
Questi passaggi potrebbero essere ripercorsi dai soggetti promotori nel periodo in cui si mettono a punto i sistemi di raccolta dell’indifferenziato e dei riciclabili, nel senso di una loro ricalibrazione o revisione. Infatti per poter avere prodotti di buona/elevata qualità si renderà necessario spingere i comprensori verso una maggiore progressiva domiciliarizzazione.
Pertanto tale fase potrebbe coincidere con l’avvio dei progetti, la loro autorizzazione e condivisione, per la parte che riguarda la selezione dei rifiuti riciclabili.
In un secondo tempo, anche in seguito alla revisione delle raccolte sul territorio, potrebbero essere implementate le linee di recupero mediante estrusione del rifiuto urbano indifferenziato, con la chiusura del cerchio.
Per il raffronto con la tecnologia termica - che si prevede sia a servizio dell’intero bacino provinciale - si rende necessario effettuare delle ipotesi che consentano di confrontare la tecnologia proposta nel presente studio con quella proposta dalla Provincia Autonoma di Trento.
Il bacino provinciale può essere coperto con tre piattaforme quali quella ipotizzata, operanti su 3 turni cadauna. Nella parte economica e ambientale del presente studio sono effettuati tali confronti.

Par. 6 - Tempistica

Le opere edili e impiantistiche si prevede richiedano un anno cadauna; in tale periodo di tempo si è inserita la progettazione, la presentazione delle necessarie richieste di autorizzazione.
Nel corso del secondo anno dopo l’installazione e collaudo delle linee si è previsto lo svolgimento di una prima fase di prove di estrusione, per la verifica dei prodotti ottenibili e la ricerca dei mix ottimali del prodotto in uscita.